<36618585800018
S
<36618585800018
F Bayer. Staatsbibliothek

Phys. g
30d – (1

Baumgartner

– den 15 April

Phys. g. 30 d-1

Die Naturlehre

nach ihrem

gegenwärtigen Zuſtande,

mit Rückſicht

auf mathematiſche Begründung.

Dargeſtellt

von

Dr. Andreas Baumgartner,

k. k. Profeſſor der Phyſik und Mechanik an der Univerſität zu Wien und Mitgliede mehrerer in- und ausländiſcher gelehrter Geſellſchaften.

Vierte, umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit acht Kupfertafeln.

Wien, 1832.

Im Verlage von J. G. Heubner.

Gedruckt bei A. Strauß's ſel. Witwe.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Dem

verehrten Schwager und Collegen

Herrn

Andreas von Ettingshauſen,

k. k. Profeſſor der höheren Mathematik

an der Wiener-Univerſität,

gewidmet

vom

Verfaſſer.

Vorrede.

Ein Buch, das mehrere Auflagen erlebt, wovon jede das Prädicat einer umgearbeiteten und vermehrten führt, hat, wie alles, das Veränderungen erleidet, ſeine Geſchichte. Man überläßt es zwar gewöhnlich dem Leſer, ſich dieſe Geſchichte aus den jeder Auflage beigegebenen Vorreden ſelbſt zu entwerfen, ich will aber lieber, um den Weg zum Buche abzukürzen, alle Vorreden in eine einzige zuſammenziehen und in dieſer dem Leſer das Werk mit allen ſeinen bisherigen Schickſalen vorführen.

Die erſte Auflage erſchien im Jahre 1823 in drei kleinen Bänden, welche zuſammen 40 Druckbogen und 10 Tafeln enthielten; aber ſchon im Jahre 1826 wurde eine neue Auflage nothwendig und dieſe erſchien in demſelben Jahre in einem einzigen Bande mit 45 Druckbogen und 7 Tafeln. Da das Werk inzwiſchen zum Vorleſebuche in den deutſchen öſt. Staaten beſtimmt worden war, mußten mehrere Abänderungen im Plane und in der Darſtellung vorgenommen werden. Die Reduction auf einen einzigen Band geſchah der Raumerſparung wegen und zur Erzielung eines geringeren Preiſes; der Gebrauch bei den öffentlichen Vorleſungen machte eine ausführlichere Behandlung der chemiſchen Lehren und eine Beſchränkung der mathematiſchen Sätze nothwendig, doch ging letztere nur ſo weit, daß dabei der Titel des Buches, der die Naturlehre mit beſonde-

rer Rückſicht auf mathematiſche Begründung darzuſtellen verſprach, noch immer unverändert beibehalten werden konnte, um ſo mehr, als ein Supplementband nachfolgen ſollte (der auch im Jahre 1831 wirklich erſchien), wo der Leſer eine ausführliche Behandlung der mathematiſchen Lehren finden ſollte, und die mathematiſche Begründung der Naturlehre nicht auf wirklich ausgeführten Rechnungen, ſondern auf einer zur mathematiſchen Behandlung geeigneten Darſtellung der Begriffe und Thatſachen beruht. Als beſondere Zugabe zur zweiten Auflage erſchien die Lehre von der ſchwingenden Bewegung des Waſſers, weil gerade zur Zeit ihres Erſcheinens die phyſiſche Literatur mit der Gebrüder Weber vortrefflichem Werke über die Wellenlehre bereichert wurde, durch welches dieſer wichtige Theil der Phyſik auch Anfängern zugänglich gemacht wurde, während er früher nur als Eigenthum gewandter Mathematiker angeſehen werden konnte, ja ſelbſt dieſen nicht ſo klar zu ſeyn ſchien, als er es jetzt jedem nur einigermaßen denkenden Kopfe gemacht werden kann. Im Jahre 1829 wurde die dritte Auflage nothwendig. Sie erſchien wieder in einem einzigen Bande, mit 49 Druckbogen und 8 Tafeln, und zu gleicher Zeit wurde die zweite Auflage ins Italieniſche überſetzt. Die vielen, im Verlaufe der Zeit durch die Fortſchritte der Phyſik und meine eigenen Erfahrungen im Lehrfache nothwendig gewordenen Zuſätze, machten es aber unerläßlich, den Druck enger einzurichten und ſich, beſonders in den Citaten, mancher Abkürzung zu bedienen. Die Ausbildung der Electricitätslehre und die Wichtigkeit der Unterſuchungen des electriſchen Stromes durch die Magnetnadel veränderten die Ordnung der Materie des zweiten Theils und nöthigten die Lehre vom Magnetis-

mus der Electricität vorauszugehen, um ihr hülfreiche Hand leiſten zu können; die Electricitätslehre ſelbſt bekam eine ganz neue Anordnung und ſollte die Spuren der den Geiſt der Wiſſenſchaft verletzenden, chronologiſchen Anordnung ihrer einzelnen Theile verlieren, die in den früheren Auflagen und faſt in allen phyſiſchen Werken nur zu deutlich hervortritt, ja es ſollte bei dieſer Lehre dasſelbe Princip der Anordnung geltend gemacht werden, welches bei der Mechanik der ſchweren Körper längſt herrſchend geworden iſt, wo man die Geſetze der Bewegung von jenen des Gleichgewichts aufs ſtrengſte abſondert.

Wer gegenwärtige Auflage mit einer der früheren vergleicht, wird wohl zugeben müſſen, daß ich mir das Recht, ſie wieder eine umgearbeitete und vermehrte nennen zu dürfen, mühſam erworben habe, indem wenige Paragraphe ganz in ihrer vorigen Geſtalt geblieben und, hie und da, ganze Doctrinen umgeſtaltet worden ſind, wie z. B. der chemiſche Theil, den ich der Idee einer allgemeinen, phyſikaliſchen Chemie näher bringen wollte, die Lehre von den Molecularkräften, durch welche eine größere Schärfe und Beſtimmtheit der Begriffe feſter, flüſſiger, elaſtiſcher, harter und weicher Körper ꝛc. erzielt werden ſollte, die Optik, welche in ihrem photometriſchen Theile eine größere Ausdehnung erhielt, die Electricitätslehre, zu deren theilweiſen Umſtaltung mich das gründliche Urtheil des gelehrten Recenſenten in der Haller Lit. Zeitung (Dr. Kämtz) vermochte, endlich die phyſiſche Geographie und ein Theil der Meteorologie. Ich habe dieſe Arbeit mit inniger Liebe zur Wiſſenſchaft unternommen und jede Abänderung aus dem Grunde getroffen, weil ich die Naturlehre in ihrer neueſten Geſtalt darſtellen zu müſſen und keine Anſicht oder Erfah-

rung, wenn ſie Etwas zur Erweiterung des Gebietes der Wiſſenſchaft oder zur inneren Conſolidirung derſelben beitragen konnte, gering achten zu dürfen glaubte. Daß dabei, wenn das Volumen nicht zu groß ausfallen ſollte, auf Verminderung des leeren Raumes hingearbeitet werden mußte, und kein Raumerſparungsmittel außer Acht gelaſſen werden durfte, iſt klar. Darum wurden alle früher eingeführten Abkürzungen wieder angewendet, und der Leſer findet z. B. Gilb. Ann., Pogg. Ann., Schweigg. J., Kaſt. Arch., Zeitſch., Suppl. ꝛc. ꝛc. ſtatt Gilbert's und Poggendorff's Annalen, Schweigger's Journal für Phyſik und Chemie, Kaſtner's Archiv für die geſammte Naturlehre, Zeitſchrift für Phyſik und Mathematik, Supplementband ꝛc. Ungeachtet aller dieſer Mittel mußte doch die Bogenzahl etwas vermehrt werden; doch fällt dieſer Zuwachs nur dem Verleger, nicht dem Käufer zur Laſt.

Wien im Jänner 1832.

Der Verfaſſer.

Inhaltsanzeige.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Seite

Einleitung 3

Erſter Abſchnitt. Von den Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Eigenſchaften der Körper . . 10

Zweites Kapitel. Verſchiedenheiten der Körper . . 26

A. Aggregationszuſtand . . . . —

B. Chemiſche Verſchiedenheit der Körper 28

Zweiter Abſchnitt. Gleichgewicht der Kräfte.

Erſtes Kapitel.* Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte 62

Zweites Kapitel.* Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper 72

Drittes Kapitel.* Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen 77

Viertes Kapitel. Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander (Theorie der Cohärenz) 87

A. Kryſtalliſation der Körper 88

B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper . . 98

Fünftes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern 106

A. Über Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere . . . . —

B.* Geſetze des Gleichgewichtes, ſchwerer, unzuſammendrückbarer, nicht adhärirender Flüſſigkeiten . . 118

C.* Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes feſter und tropfbarer Körper 120

D.* Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, zuſammendrückbarer adhärirender Flüſſigkeiten 126

Sechstes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern 135

A. Schwere und Ausdehnſamkeit der Gaſe . . . . —

B. Specifiſches Gewicht der Gaſe 150

C. Gleichgwicht der Gaſe 153

D. Gleichgewicht der Dünſte 165

Seite

Dritter Abſchnitt. Bewegung der Körper.

Erſtes Kapitel.* Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere 178
A. Bewegung, welche durch momentan wirkende Kräfte hervorgebracht wird 179
B. Bewegung, welche durch continuirlich wirkende Kräfte hervorgebracht wird 182
C. Bewegung, welche entſteht, wenn eine momentan und eine continuirlich thätige Kraft zugleich auf das Bewegliche wirkt 194
D. Stoß der Körper 202
Zweites Kapitel.* Hinderniſſe der Bewegung . . . 208
Drittes Kapitel. Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper 214
A.* Fortſchreitende Bewegung . . . . . . —
B. Wellenbewegung 222
Viertes Kapitel.* Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper 232
Fünftes Kapitel. Geſetze der ſchallenden Bewegungen . 235
A. Vom Schalle überhaupt . . . . —
B. Fortpflanzung des Schalles 238
C. Der Schall in Beziehung auf Höhe und Tiefe . . 246
D. Der Schall in Beziehung auf ſeine Stärke . . 251
E. Schwingungen ſelbſttönender Körper 254
F. Schwingungen mittönender Körper 275
G. Empfindung des Schalles 279

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt. Licht.

Erſtes Kapitel. Das Licht überhaupt 285
Zweites Kapitel. Reflexion des Lichtes 295
Drittes Kapitel. Gewöhnliche Brechung des Lichtes . . 304
Viertes Kapitel. Analyſe des Lichtes 311
Fünftes Kapitel. Brechung des Lichtes in ſphäriſchen Linſen 321
Sechstes Kapitel. Interferenz des Lichtes 331
Siebentes Kapitel. Beugung des Lichtes 335
Achtes Kapitel. Farben dünner Körper 343
Neuntes Kapitel. Beſtimmung der Lichtſtärke 348
Zehntes Kapitel. Doppelte Brechung und Polariſation des Lichtes 360
Eilftes Kapitel. Das Auge und das Sehen 394

Seite

Zwölftes Kapitel. Optiſche Inſtrumente 405
Mikroſkope . . . . —
Fernröhre 415
Einige andere, wichtige, optiſche Inſtrumente . . . 423

Zweiter Abſchnitt. Wärme.

Erſtes Kapitel. Von der Wärme überhaupt . . . 426
Zweites Kapitel. Geſetze der Bewegung der Wärme . . 427
Drittes Kapitel. Geſetze des Gleichgewichtes der Wärme . 440
A. Capacität und ſpecifiſche Wärme . . . . . —
B. Ausdehnung durch die Wärme 447
C. Änderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme 454
D. Anwendung der Dünſte 462
Viertes Kapitel. Quellen der Wärme und Kälte . . 468
Fünftes Kapitel. Wärme in Verbindung mit Licht . . 475
Sechstes Kapitel. Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene 486

Dritter Abſchnitt. Magnetismus.

Erſtes Kapitel. Allgemeine magnetiſche Erſcheinungen . 490
Zweites Kapitel. Erdmagnetismus 493
Drittes Kapitel. Verfahren, dem Eiſen dauernden Magnetismus zu ertheilen 504
Viertes Kapitel. Geſetze der magnetiſchen Kräfte im Gleichgewichte 510
Fünftes Kapitel. Geſetze des Magnetismus in Bewegung 522

Vierter Abſchnitt. Electricität.

Erſtes Kapitel. Electriſche Erſcheinungen und Quellen der Electricität überhaupt 527
Zweites Kapitel. Entwickelung der Electricität durch Reibung — Electriſirmaſchine 532
Drittes Kapitel. Wirkung der electriſchen Atmoſphäre und darauf beruhende Apparate 535
Viertes Kapitel. Entwickelung der Electricität durch Berührung — Volta'ſche Säule 542
Fünftes Kapitel. Erregung der Electricität durch andere Mittel 550
Sechstes Kapitel. Electricität im Gleichgewichte . . 556
Siebentes Kapitel. Electricität in Bewegung . . 564
A. Wirkungen des electriſchen Stromes in Körpern, durch die er geht 567
B. Wirkungen des electriſchen Stromes in die Ferne . 585
C. Stärke und Richtung des electriſchen Stromes in einem Electromotor 597
D. Electriſche Leitfähigkeit 608

Seite

Dritter Theil.

Erſcheinungen im Großen.

Einleitung 615

Erſter Abſchnitt. Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel.* Himmelskörper überhaupt . . . 616
Zweites Kapitel.* Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre 618
Drittes Kapitel.* Geſtalt der Erde und ihre Axendrehung 623
Viertes Kapitel.* Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde 632
Fünftes Kapitel.* Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde 635
Sechstes Kapitel.* Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne 642
Siebentes Kapitel. *Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe 649
Achtes Kapitel.* Die Kometen und ihre Bewegung . . 654
Neuntes Kapitel.* Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten 656
Zehntes Kapitel.* Urſache der Planetenbewegung . . 663
Eilftes Kapitel.* Fixſterne. Größe des Weltalls . . 684

Zweiter Abſchnitt. Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel. Beſchaffenheit der Erde überhaupt . . 673
Zweites Kapitel. Gewäſſer der Erde 675
Drittes Kapitel. Feſtes Land 697
Viertes Kapitel. Veränderungen der Erde . . . 726

Dritter Abſchnitt. Meteorologie.

Erſtes Kapitel. Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt 739
Zweites Kapitel. Veränderungen der Beſtandtheile der Atmoſphäre 741
Drittes Kapitel. Vertheilung der Wärme auf der Erde 744
Viertes Kapitel. Luftſtrömungen 764
Fünftes Kapitel. Oscillationen der Atmoſphäre . . 770
Sechstes Kapitel. Waſſermeteore 777
Siebentes Kapitel. Electrometeore 790
Achtes Kapitel. Lichtmeteore 799
Neuntes Kapitel. Feuermeteore 811
Zehntes Kapitel. Einiges über Wetteranzeigen . . 814

Anmerkung. Die mit Sternchen (*) bezeichneten Kapitel fallen bei kleinen Lehranſtalten laut §. 32 des Studienplanes in das Gebiet des Profeſſors der Mathematik.

Naturlehre.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Einleitung.

1. Es iſt eine unläugbare Thatſache des Bewußtſeyns, daß wir Vorſtellungen haben, deren Gegenſtände wir als etwas im Raume Exiſtirendes und denſelben Erfüllendes betrachten. Wir bezeichnen dieſe Gegenſtände mit dem Namen Materie und bezweifeln ihr reales Daſeyn, aller Behauptungen der Idealiſten ungeachtet, nicht im geringſten. Materie innerhalb beſtimmter Grenzen nennen wir Körper; den Inbegriff der Körper Natur in materieller Bedeutung, wohl auch Sinnenwelt, Körperwelt *(mundum sensibilem)*. In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Princip alles deſſen, was zum Daſeyn eines Dinges gehört. In dieſem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Waſſers, des Goldes u. ſ. w. ſpricht. Die Wiſſenſchaft der Natur d. i. die ſyſtematiſche Kenntniß der Körperwelt, heißt Naturlehre oder Phyſik im weiteren Sinne.

2. Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß wir nur mittelſt unſerer Sinne zur Kenntniß der Körperwelt gelangen, ſo läßt ſich doch nicht läugnen, daß dieſe Kenntniß immer das Gepräge des anſchauenden und denkenden Subjectes an ſich trägt; denn wir können Dinge außer uns nur der, allen Menſchen gemeinſchaftlichen, Form der Sinnlichkeit gemäß anſchauen und über ſo gewonnene Anſchauungen nur nach Regeln denken, die in der Natur unſeres Verſtandes gegründet ſind. Kennen wir die Geſetze unſeres Denk- und Anſchauungsvermögens, ſo ſind wir im Stande, über Dinge außer uns etwas *a priori*, d. i. ohne wirkliche Anſchauung auszuſagen, das ihnen nothwendig zukommen muß. Hieraus erwächſt die reine Naturlehre im Gegenſatze mit der Erfahrungsnaturlehre, deren Quelle ſinnliche Wahrnehmungen ſind.

Wenn ſich auch das vorliegende Werk vorzugsweiſe mit letzterer beſchäftiget, ſo kann doch erſtere nicht ganz ausgeſchloſſen werden, weil

ſich ihre Grenzen zu oft berühren, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungsſätze Principien *a priori* nöthig ſind, und endlich, weil bloße Erfahrung keine ſtrenge Allgemeinheit, mithin keine wiſſenſchaftliche Feſtigkeit gewährt.

3. Die Erfahrungsnaturlehre ſchöpfet alſo ihren Stoff aus äußeren Anſchauungen. Durch dieſe werden wir das Daſeyn der Körper und die Veränderungen gewahr, welche einer durch den anderen oder durch irgend eine nicht materielle Urſache erleidet. Dieſe Veränderungen heißt man Erſcheinungen, Phänomene, wiewohl man nicht ſelten den Ausdruck Erſcheinung auf alles das anwendet, was durch die Sinne wahrgenommen wird. Die Veränderungen der Körper ſind wieder von zweierlei Art: entweder Veränderungen des äußeren Zuſtandes, räumliche Veränderungen, oder der inneren materiellen Beſchaffenheit, materielle Veränderungen. Jene heißt man mechaniſche, dieſe chemiſche Veränderungen. So z. B. iſt die Veränderung, welche ein Stück Kreide erleidet, indem man es zerſchlägt, eine mechaniſche, diejenige hingegen, der es unterliegt, wenn man es in ein ſtarkes Feuer bringt und daraus ätzenden Kalk bereitet, eine chemiſche. Die erſtern ſind, in ihrer Allgemeinheit aufgefaßt, nichts als Bewegungen und nur allein Gegenſtand der Naturlehre nach der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes; die zweiten gehören in das Gebiet einer eigenen, weitläufigen Wiſſenſchaft, in die Chemie.

Deſſen ungeachtet iſt eine abſolute Trennung beider im Vortrage nicht möglich, weil beiderlei Erſcheinungen, wiewohl ſie im Begriffe ſcharf getrennt ſind, in der Natur oft ſo innig verbunden vorkommen, daß ſie nicht geſchieden werden können, ohne der Deutlichkeit Abbruch zu thun.

4. Es gibt ſo viele Körper und ſo zahlreiche Einwirkungen derſelben auf einander, daß ſie ein menſchlicher Geiſt nicht einzeln zu faſſen vermag. Man iſt dadurch genöthigt, das Gebiet der Phyſik abermals zu beſchränken und dahin nur die allgemeinen Charactere alles Körperlichen und die allgemeinſten mechaniſchen Beziehungen der Körper auf einander zu verſetzen. Die Phyſik beſchäftiget ſich alſo mit allen Körpern, den organiſchen und unorganiſchen, ſie betrachtet aber in allen nur das Körperliche ohne Rückſicht auf den organiſchen Bau.

5. Die Kenntniß der Erſcheinungen, welche der wiſſenſchaftlichen Einſicht in die Natur zu Grunde liegen, erwirbt man ſich durch aufmerkſame Betrachtung derſelben, d. i. durch Beobach-

ten. Wiewohl ununterbrochen Erſcheinungen vor ſich gehen, bei denen ſich die Natur in ihrer freien, von unſerem Zuthun ganz unabhängigen Wirkſamkeit und im Großen äußert; ſo ſind wir doch nicht ſelten gezwungen, um die angedeutete oder muthmaßliche Urſache einer Erſcheinung aufzufinden und ſie unter möglichſt abgeänderten Umſtänden betrachten zu können, derlei Erſcheinungen im Kleinen herbeizuführen. Man heißt dieſes einen Verſuch machen oder experimentiren.

6. Sowohl zur Anſtellung mancher Beobachtungen als auch zu Verſuchen braucht man Inſtrumente, deren Zweck, Beſtandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Phyſiker genau kennen muß, beſonders, wenn er ſie nicht blos dazu braucht, das Stattfinden gewiſſer Erſcheinungen nachzuweiſen, ſondern ſie der Größe nach zu beſtimmen und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumſtandes anzugeben. Es iſt klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geſchicklichkeit, viel Übung und ein beſonderer Scharfblick gehört. Indeß erhält der geſchickteſte Phyſiker mit den beſten Inſtrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Reſultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichſt nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen und aus allen Reſultaten dasjenige zu ſuchen, welches mit dem geringſten Fehler behaftet iſt. Dahin gelangt man mittelſt einer beſonderen Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrſcheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe den Supplementband S. 8; ferner: *Senebier l'art d'observer. Génève.* 1775. Deutſch: Leipzig 1776. *Nollet l'art des expériences. Paris* 1770. Deutſch: Leipzig 1771.)

7. So intereſſant auch ſchon die bloße Kenntniß des Stattfindens einer Erſcheinung iſt, ſo wird dieſes Intereſſe doch unendlich erhöht, wenn man ſie im Zuſammenhange mit anderen Thatſachen erkennt. Dieſes iſt der Fall, wenn man die Urſachen der Erſcheinungen aufdeckt oder die Erſcheinungen erklärt. Man iſt aber nicht im Stande, die Urſachen aller Erſcheinungen aufzufinden, ſondern man muß ſich oft damit begnügen, einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund vorauszuſetzen und zu verſuchen, ob ſich aus demſelben die Erſcheinungen erklären laſſen. Solche Vorausſetzungen heißt man Hypotheſen. So z. B. nehmen viele zur Erklärung der Erſcheinungen des Sehens einen eigenen Lichtſtoff an, der von leuchtenden Körpern ausgeht und in unſer Auge eindringt, ſo daß nach dieſer Anſicht der Geſichtsſinn auf ähnliche

Weiſe afficirt wird, wie der Geruchsſinn, von dem erwieſen iſt, daß er durch feine Ausflüſſe aus riechenden Körpern angeregt wird. Ähnliche Vorausſetzungen macht man über die Wärme, die Electricität, den Magnetismus.

8. Wenn eine Hypotheſe die Erſcheinungen leicht, einfach, ohne Umſchweife und Hilfshypotheſen erklärt und keiner anerkannten Wahrheit widerſpricht; ſo kann ſie ſo lange dem wahren Grunde ſubſtituirt werden, als er ſelbſt noch verborgen iſt. Daher ſcheint mir die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausſtrahlenden Lichtſtoffes keine glückliche Hypotheſe, denn ſie erklärt, wie die Folge zeigen wird, die Erſcheinungen nur mittelſt vieler Hilfshypotheſen; daher iſt die Annahme negativ ſchwerer Körper nicht zuläſſig, denn ſie widerſpricht der Wahrheit, daß alles, deſſen Materialität erwieſen iſt, poſitiv ſchwer ſey. Als wahre Urſache kann eine ſolche Vorausſetzung erſt dann gelten, wenn ſie entweder als Erſcheinung vorkommt oder die Erſcheinungen nicht blos im Allgemeinen und der Qualität, ſondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Reſultate gibt, die mit der Erfahrung übereinſtimmen, oder endlich, wenn bewieſen iſt, daß die Erſcheinungen in ihrem Zuſammenhange nicht anders erklärt werden können. Z. B. Die Luftelectricität war ſo lange ein blos hypothetiſches Weſen, bis Franklin ihr Daſeyn factiſch nachwies; die elliptiſche Bewegung der Planeten um die Sonne iſt keine Hypotheſe mehr, weil ſich aus ihr und nur aus ihr allein alle dahin gehörigen Erſcheinungen, der Größe nach, genau ſo ergeben, wie ſie die Erfahrung nachweiſet.

9. Wenn man eine Hypotheſe ſorgfältig braucht und nie vergißt, daß man es nicht mit einem wahren Grunde zu thun hat; ſo iſt ſie für die Wiſſenſchaft von großem Nutzen. Man kann mit ihrer Hilfe Erſcheinungen in einen Zuſammenhang bringen, die ſonſt als ein Chaos unüberſehbar wären, ja ſogar die Erklärung derſelben vorbereiten. Die Geſchichte der Phyſik liefert mehrere Beiſpiele, welche dieſes beſtätigen. Z. B. Die hypothetiſche Vorausſetzung eines electriſchen Fluidums gibt einen ſicheren Wegweiſer durch das ganze weitläufige Gebiet der electriſchen Erſcheinungen ab, aus ihr hat man die Einrichtung der Blitzableiter erkannt, welche ſich bis jetzt noch immer als zweckmäßig bewährt hat.

10. Häufig iſt die Urſache einer Erſcheinung ſelbſt wieder ein Phänomen, bedarf daher eines neuen Grundes. Dieſer ſetzt wieder

einen ferneren voraus, wenn er ſelbſt in der Erfahrung vorkommt, ſo, daß man endlich durch eine Reihe von Erſcheinungen, deren jede zugleich Urſache und Wirkung iſt, auf einen letzten überſinnlichen Grund kommt, der im Innern der Natur ſeine Wurzel hat. Man nennt ihn Kraft, ohne durch dieſen Ausdruck mehr als eine uns dem Weſen nach ganz unbekannte Urſache einer Erſcheinung bezeichnen zu wollen. Z. B. Ein mit erwärmter Luft gefüllter Luftballon ſteigt in die Höhe, weil ihn die atmoſphäriſche Luft ſtärker in die Höhe drückt, als er durch ſein Gewicht zu fallen ſucht; jener Druck iſt aber ſtärker als dieſes Gewicht, weil warme Luft ſpecifiſch leichter iſt, als kältere; jene iſt leichter als dieſe, weil ſie dünner iſt; ſie iſt dünner, weil die Wärme eine ausdehnende Kraft beſitzt, die wir nicht weiter zu erklären vermögen.

11. Die Erſcheinungen, welchen wir unmittelbar Kräfte zu Grunde legen müſſen, ſind ſo mannigfaltig, daß wir, wenigſtens vor der Hand, nicht alle derſelben aus einer einzigen Quelle abzuleiten vermögen. Wir nehmen deshalb für jede zuſammengehörige Reihe von Erſcheinungen, die wir nicht weiter erklären können, eine beſondere Kraft an und benennen ſie nach der letzten dadurch zu erklärenden Erſcheinung. So ſpricht man von einer Schwerkraft, von einer Adhäſionskraft, um dadurch den letzten Grund der Schwere und der Adhäſion zu bezeichnen. Vergleicht man alle Erſcheinungen mit einander und bedenkt, daß bei jeder derſelben eine Bewegung vor ſich geht, daß dieſe aber nur in einer Annäherung oder Entfernung beſtehen kann; ſo findet man hierin eine völlige Rechtfertigung für die Annahme, daß die Anziehungs- und Abſtoßungskraft die Grundkräfte der Natur ſind, alle anderen aber als davon abgeleitete Kräfte betrachtet werden müſſen.

12. Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß es Naturkräfte geben muß, weil die Erſcheinungen der Körperwelt doch irgend einen letzten, im Weſen der Natur liegenden Grund haben; ſo ſind doch die meiſten, vielleicht alle bis jetzt angenommenen Naturkräfte, insbeſondere betrachtet, nichts als Hypotheſen, denn es iſt nicht erwieſen, daß Erſcheinungen, welche jetzt für die letzten gehalten werden, nicht noch eine empiriſche Quelle haben.

13. Das Daſeyn derjenigen Erſcheinungen, denen wir keinen weitern ſinnlichen Grund als Urſache unterzulegen im Stande ſind, ſammt der Art und Weiſe, nach der ſie erfolgen, ſehen wir als eine im Weſen der Natur liegende Einrichtung an und ſagen, das

Stattfinden einer ſolchen unerklärbaren Erſcheinung ſey ein Naturgeſetz. Die Erforſchung der Naturgeſetze iſt der höchſte Zweck der Naturlehre und man kann mit Zuverſicht behaupten, daß man im Gebiete dieſer Wiſſenſchaft deſto weiter gekommen iſt, auf je wenigere Naturgeſetze alle wahrnehmbaren Erſcheinungen zurückgeführt werden können.

14. Von den hier bezeichneten Naturgeſetzen laſſen ſich beſonders mit Hilfe der Mathematik andere Geſetze ableiten, die nicht ſelten von der größten Erheblichkeit ſind. Man bringt zu dieſem Zwecke die aus der Erfahrung bekannten Thatſachen in einen mathematiſchen Ausdruck, deſſen Form durch das ſchon bekannte Naturgeſetz gegeben iſt, und wendet hierauf die Kunſtgriffe an, mit denen uns der Scharfſinn der großen mathematiſchen Geiſter ſo reichlich verſehen hat. Als Beiſpiel mag Folgendes dienen: Die Erfahrung lehrt, daß ein langer Metalldraht, durch welchen Electricität ſtrömt, auf eine Magnetnadel mit einer Kraft wirkt, welche in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel wächſt. Bringt man dieſes Geſetz in eine mathematiſche Formel, ſo kann man daraus ableiten, daß die Kraft, mit welcher ein Element dieſes Drahtes auf die Magnetnadel wirkt, abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt. Durch Erfahrung hätte man dieſes Geſetz nie unmittelbar finden können. Es zeigt ſich daher hier die Wichtigkeit der Mathematik für den Phyſiker von der ſchönſten Seite und beweiſet unwiderſprechlich, daß in den Naturwiſſenſchaften gerade ſo viel Wiſſenſchaft als Mathematik enthalten ſey.

15. Alles bisher Geſagte zuſammengenommen bezeichnet den Begriff der Erfahrungsnaturlehre als die ſyſtematiſche Kenntniß der Geſetze der Veränderungen der Körperwelt.

Hieraus iſt nun leicht erſichtlich, daß ſich die Phyſik weſentlich unterſcheidet von der Naturgeſchichte, welche die Naturkörper beſchreibt und claſſificirt, und von der Phyſiologie, welche die Geſetze des Lebens organiſcher Körper erörtert; worin ſich die Phyſik von der Chemie unterſcheidet, iſt bereits (3) geſagt worden. Siehe hierüber: Unterſuchungen über den eigentlichen Sinn der höhern Analyſis nebſt einer idealen Überſicht der Mathematik und Naturkunde von E. G. Fiſcher. Berlin 1808. S. 1—62.

16. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menſchen als Mitglied eines Staates oder als moraliſchem Weſen verſchafft, iſt ſo

groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erſchöpfend aus einander geſetzt werden kann. Alle techniſchen Gewerbe ſind ihrer Vollkommenheit deſto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgeſetzen beruht, mit deren Entwicklung ſich die Phyſik beſchäftiget; der Ackerbau bedarf derſelben Geſetze, um ſeine Producte nachhaltig zu gewinnen und ſeine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Waſſer und zu Lande nimmt die Naturlehre in Anſpruch, und dieſelbe Wiſſenſchaft iſt es, welche die Waffe ſchmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner iſt der moraliſche Nutzen der Naturlehre. Sie iſt die Lehrerin der Klugheit, indem ſie die Erfolge mancher Ereigniſſe vorausſehen lehrt; ſie predigt Demuth und Beſcheidenheit, indem ſie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit ſie ganz zu begreifen darſtellt; ſie zeigt aber auch die Größe des menſchlichen Geiſtes von der ſchönſten Seite und flößt Vertrauen zu unſeren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Phyſik das ſagen, was ein großer Genius der Deutſchen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, ſagt: daß ſie dem Menſchen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, ſondern unendlich iſt.

Erſter Abſchnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Eigenſchaften der Körper.

17. Die materiellen Weſen, deren Inbegriff die Körperwelt ausmacht, ſtehen unter einander in einer beſtändigen Wechſelwirkung; ſie ändern ſich gegenſeitig in ihren äußeren und inneren Verhältniſſen und begründen ſo das ſtets rege Leben der materiellen Natur. Dieſes Aufeinanderwirken erfolgt durch eigene, den Körpern inwohnende Kräfte und durch die ſogenannten Imponderabilien, worunter man das Licht, die Wärme, die Electricität und den Magnetismus verſteht. Sowohl jede jener Kräfte als auch jedes dieſer Imponderabilien muß nach beſtimmten Geſetzen wirken, über welche nur die Erfahrung, verbunden mit richtigen Schlüſſen, Aufſchluß zu geben vermag. Theils durch die genannten Imponderabilien, theils durch unmittelbare Berührung oder durch eine Bewegung eigener Art wirken die Körper auch auf unſere Sinnesorgane, und erregen dadurch jene Affection, auf welche die Wahrnehmung folgt. So wird durch die Wärme unſer Gemeingefühl, durch eine beſond re Bewegung unſer Gehör und durch unmittelbare Berührung der Taſtſinn afficirt. Von dieſem Sinne allein wiſſen wir mit Gewißheit, daß er nur durch Materielles afficirt werden kann; darum auch nur gegen die Materialität desjenigen kein Zweifel übrig bleibt, welches taſtbar iſt, oder das, falls ein Betaſten wegen zu großer Entfernung unmöglich iſt, mit dem Taſtbaren in allen übrigen Verhältniſſen übereinſtimmt. Die Möglichkeit einer ſolchen Übereinſtimmung ſetzt aber voraus, daß allen wahrnehmbaren Körpern Eigenſchaften zukommen, wodurch ſie ſich von dem nicht Materiellen unterſcheiden, die ihnen nicht entzogen werden können,

ja nicht einmal einer Vermehrung oder Verminderung fähig ſind. Von der Art ſind die Ausdehnung, Figurabilität und Undurchdringlichkeit. Sie heißen weſentliche allgemeine Eigenſchaften der Körper.

18. Alles Körperliche exiſtirt für uns im Raume, iſt alſo ausgedehnt, und hat, weil es in ſeiner Ausdehnung begrenzt iſt, eine gewiſſe Art der Begrenzung, d. i. eine Figur. Die Erfahrung beſtimmt dieſe Eigenſchaften noch näher, indem ſie lehrt, daß jeder, auch der kleinſte Körper, drei Dimenſionen hat, daß die Mannigfaltigkeit der Figuren ungemein groß und daß ſie bei vielen Körpern regelmäßig oder wenigſtens ſymmetriſch ſind, wie man an den Zeichnungen der Schmetterlingsflügel, am Gewebe feiner Häute, an den Geſtalten des Eiſes an Fenſtern u. ſ. w. bemerkt, daß einige Körper eine ſelbſtſtändige Geſtalt haben, andere aber ſich ſtets nach dem Gefäße richten, in welchem ſie ſich befinden. Mikroſkopiſche Beobachtungen ſind in dieſer Hinſicht beſonders lehrreich; denn ſie zeigen häufig auch da noch die größte Regelmäßigkeit der Formen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur von Ordnung und Symmetrie wahrnimmt. (Schuppen von Schmetterlingsflügeln, Haare vom Maulwurf ꝛc.)

Um Ausdehnungen mit einander zu vergleichen und zu meſſen, gibt man ihr Verhältniß zu irgend einer Ausdehnung an, die man als Einheit annimmt. Dieſe Einheit iſt in verſchiedenen Ländern der Größe und Benennung nach verſchieden. In Frankreich wird der 10,000,000ſte Theil des nördlichen Meridianquadranten der Erde als Einheit der linearen Ausdehnung angenommen und Meter genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tauſendtel davon heißt Decimeter, Centimeter. Millimeter; das Zehnfache, Hundertfache, Tauſendfache desſelben Decameter, Hectometer, Kilometer. Die Einheit des Flächenmaßes heißt Are und iſt ein Quadrat, deſſen jede Seite 10 Meter beträgt; die Einheit des Kubikmaßes wird Liter genannt und iſt ein Würfel, deſſen jede Seite einen Decimeter hat. In den meiſten andern Ländern und in früherer Zeit auch in Frankreich iſt eine Klafter, ein Fuß, Zoll und eine Linie die Einheit des Längenmaßes, eine Quadratklafter, ein Quadratfuß ꝛc. die des Flächenmaßes, und eine Kubikklafter, ein Kubikfuß ꝛc. die des Körpermaßes. Man kennt heut zu Tage die Verhältniſſe der in verſchiedenen Ländern gangbaren Maße zu einander mit ziemlicher Genauigkeit, und kann daher leicht eines in das andere verwandeln. Ein Wienerfuß hält 0.3161023 Meter. (Eine vollſt. Tabelle liefert der Supplementband S. 853—872.)

In der Folge ſoll unter dem Ausdrucke: Einheit des Längenmaßes oder Länge $=1$ ſtets ein Längenfuß, unter Einheit des Flächenmaßes oder Fläche $=1$ ein Quadratfuß, unter Einheit des Körpermaßes oder Rauminhalt $=1$ ein Kubikfuß verſtanden werden, wenn nicht ausdrücklich eine andere Einheit genannt wird.

Zur Beſtimmung linearer Ausdehnungen bedient man ſich guter Maßſtäbe, die mit einem Nonius oder Vernier verſehen ſind. (Sie zu beurtheilen und zu gebrauchen lehrt der Supplementband S. 28 u. f.)

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte, gerade oder krumme Linie, die ſich an einem Maßſtabe verſchieben läßt und dazu dient, den Abſtand zweier unmittelbar auf einander folgender Theilſtriche desſelben in kleinere Theile zu theilen. Iſt ein Stück a eines Maßſtabes in n gleiche Theile getheilt, ſo beträgt die Größe eines Theiles $\frac{a}{n}$. Hat der Nonius dieſelbe Länge $= a$ und iſt er in $n-1$, oder in $n+1$ Theile getheilt, ſo iſt die Größe eines ſolchen Theiles $\frac{a}{n-1}$ oder $\frac{a}{n+1}$, mithin der Unterſchied zwiſchen einem ſolchen Theile des Nonius und einem Theile des Maßſtabes

$$\frac{a}{n-1} - \frac{a}{n} = \frac{a}{n(n-1)} \text{ oder } \frac{a}{n} - \frac{a}{n+1} = \frac{a}{n(n+1)}.$$

Iſt z. B. $a=13$ Linien, $n=13$, und der Nonius in 12 Theile getheilt, ſo iſt $\frac{a}{n(n-1)} = {}^1/_{12}$ L. und die Größe von 2, 3, 4 ꝛc. ſolchen Theilen beträgt ${}^2/_{12}$, ${}^3/_{12}$, ${}^4/_{12}$ ꝛc.; man kann alſo mittelſt eines ſolchen Nonius noch 12tel einer Linie meſſen, wenn auch der Maßſtab nur in Linien getheilt iſt; dasſelbe iſt der Fall, wenn der Nonius 11 Linien lang und in 12 gleiche Theile getheilt iſt. Wäre nun mittelſt eines ſo eingerichteten Maßſtabes die Linie AB (Fig. 1) zu meſſen, deren Länge ſo beſchaffen iſt, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspuncte des Maßſtabes ab zuſammenfallen läßt, B zwiſchen zwei Theilſtriche desſelben fällt, und daher das über den letzteren Theilſtrich hinausfallende Stück nicht mehr genau angegeben werden kann; ſo verſchiebe man den Nonius cd ſo, daß ein Ende desſelben mit B zuſammenfällt. Trifft da der 1te, 2te, 3te ꝛc. Theilſtrich des Nonius auf einen Theilſtrich des Maßſtabes, ſo beträgt das kleine, ohne Nonius nicht mehr meßbare Stück ${}^1/_{12}$, ${}^2/_{12}$, ${}^3/_{12}$ ꝛc. einer Linie. Es iſt leicht einzuſehen, daß ſich auf ähnliche Weiſe Stücke von Kreisbögen mittelſt des Nonius meſſen laſſen.

19. Alle für uns erkennbaren Körper füllen einen Raum ſo aus, daß in demſelben zu gleicher Zeit kein anderer ſeyn kann, d. i. ſie ſind **undurchdringlich**. Daher ſteigt das Waſſer in einem

Gefäße, wenn man einen Stein hineinwirft; eine Flüſſigkeit läßt ſich nur in ein anderes Gefäß überfüllen, wenn die Luft daraus entweichen kann; in einem verſchloſſenen, luftdichten Cylinder läßt ſich der Kolben nie bis zum Boden hinabdrücken. Auf dieſer Eigenſchaft beruht der Unterſchied zwiſchen mathematiſchen und phyſiſchen Körpern, die Sperrbarkeit der Materie u. ſ. w., unter anderen auch eine zu vielen Zwecken recht brauchbare Vorrichtung, die Taucherglocke. Dieſe beſteht aus einem großen, luftdichten, auf einer Seite offenen Gefäße, welches mit der Öffnung auf das Waſſer geſetzt und ſo verſenkt werden kann, ohne daß es vom Waſſer erfüllt wird. Halley verweilte mittelſt einer ſolchen Glocke mit noch vier anderen Perſonen $1\frac{1}{2}$ Stunde auf dem Meeresgrunde. Schade, daß die allgemeine Anwendbarkeit dieſer Vorrichtung dadurch beſchränkt iſt, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird und daß man ſich, wegen der zu ſtarken Verdichtung der Luft und des daraus entſtehenden Druckes auf den menſchlichen Körper, nicht in bedeutende Tiefen wagen darf.

Ein langer, noch nicht ganz entſchiedener Streit iſt unter den Phyſikern bei der Frage entſtanden, wie die Materie den Raum erfülle oder wodurch ſie undurchdringlich ſey. Sie wurde den Meinungen nach, die man von der Materie hatte, verſchieden beantwortet. Die Atomiſten, d. i. diejenigen, welche behaupten, die Materie beſtehe aus kleinen aber doch ausgedehnten, nicht zuſammendrückbaren und untheilbaren aber verſchieden geformten Theilen (Atomen), nehmen an, daß dieſes durch bloße Exiſtenz geſchehe. Die Dynamiker hingegen, welche die Materie als das Reſultat von zwei ſich gegenſeitig hemmenden Kräften, der anziehenden und abſtoßenden, betrachten, laſſen es durch letztere Kraft bewirken. Eigentlich ſind die Vorausſetzungen beider bloße Hypotheſen, nur iſt die der Atomiſten weniger genügend, indem ſie zur Erklärung der Natur der Materie materielle Dinge vorausſetzt, ihnen allerlei Qualitäten beilegt und dem Forſchungsgeiſte eine willkürliche Grenze ſetzt. Die Annahme der Dynamiker ſcheint einfacher und den Denkgeſetzen angemeſſener zu ſeyn, indem ſie alle Erſcheinungen aus der bloßen Modification der Grundkräfte erklärt. Übrigens beſteht das Phänomen der Undurchdringlichkeit, wodurch ſich uns ein Körper als ſolcher ankündiget, in dem Widerſtande, welchen jeder in den Raum eines anderen eindringende Körper erfährt, alſo im Aufheben der eindringenden Kraft. Da dieſes durch eine entgegengeſetzte, alſo zurückſtoßende Kraft möglich iſt, ſo kann man wohl annehmen, daß er durch dieſe undurchdringlich ſey. (Kants Anfangsgründe der Naturwiſſenſchaft. Riga, 1787.)

20. Außer dieſen Eigenſchaften, die als weſentliche anerkannt werden müſſen, gibt es noch andere, die zur Wahrnehmbarkeit eines Körpers zwar nicht nothwendig ſind, aber doch von der Erfahrung an allen Körpern nachgewieſen werden, die uns zu Gebote ſtehen. Sie heißen zufällige allgemeine Eigenſchaften und ſind: Trägheit und Beweglichkeit, Poroſität, Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit, Theilbarkeit und Schwere.

21. Dem von der Erfahrung abſtrahirten Begriffe gemäß denken wir uns jeden Körper als etwas Träges, d. i. als etwas, das ſeinen Zuſtand, er beſtehe in Bewegung oder Ruhe, nicht ſelbſtthätig zu ändern vermag. Soll ein ruhender Körper bewegt werden, ſo muß etwas da ſeyn, das ihn in Bewegung ſetzt; ſoll ein bewegter in Ruhe kommen, ſo muß die Ruhe durch etwas bewirkt werden. Auch in dem Falle, wo wir dasjenige, welches eine Änderung des Zuſtandes eines Körpers hervorbringt, nicht wahrnehmen, oder als etwas in ihm Befindliches denken, wie z. B. bei Pflanzen und Thieren, trennen wir dasjenige, deſſen Zuſtand verändert wird, als träges von dem, welches die Änderung hervorbringt. Die Erfahrung ſpricht durchaus für dieſe Eigenſchaft; ſie bewährt ſich im Fortrollen einer Kugel, die bei übrigens gleichen Umſtänden deſto weiter geht, je glatter der Boden iſt, den ſie berührt, und in der Schwierigkeit, ſich in der Ebene zurückzuhalten, wenn man von einer Anhöhe herabgelaufen iſt. An der ununterbrochen fortdauernden Bewegung der Himmelskörper, ohne daß man ſeit Jahrhunderten eine Abnahme derſelben bemerken konnte, ſieht man den beſten empiriſchen Beweis für die Trägheit der Körper. Daß aus der Trägheit der Körper ihre Beweglichkeit nothwendig folge, iſt klar.

22. Das Träge oder Undurchdringliche an einem Körper heißt man ſeine Maſſe, den Raum, welchen er einnimmt, ſeinen Rauminhalt, Volumen. Das Verhältniß der Maſſen iſt jenem der Rauminhalte nicht bei allen Körpern gleich, weil nach dem Zeugniſſe der Erfahrung die Materie durch größere oder kleinere Zwiſchenräume unterbrochen iſt, d. i. Poroſität beſitzt. Dieſe Zwiſchenräume erkennt man an vielen Körpern ſchon mit freiem Auge, wie z. B. im Korkholz; ſelbſt da, wo man ſie nicht ſieht, ſchließt man auf ihr Daſeyn aus allerlei Erſcheinungen. So geht z. B. Queckſilber mittelſt des Druckes, den man mittelſt ei-

ner Preſſe darauf ausübt, durch das dichteſte Holz und ſchon mittelſt eines mäßigen Druckes der Hand durch Leder; aus Holzſtücken, Eiern, Nußſchalen, ſelbſt aus dem ſogenannten Hydrophan (einem poröſen Steine) ſteigen Luftblaſen auf, wenn man ſie ins Waſſer legt, zum Beweiſe, daß die in den Zwiſchenräumen enthaltene Luft durch das Waſſer vertrieben wird, mithin zum Beweiſe des Daſeyns der Zwiſchenräume ſelbſt. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Weite eindringen; tropfbar flüſſige Körper, z. B. Waſſer, Weingeiſt, ſaugen luftförmige Stoffe ein und beurkunden ſo ihre Poroſität. Wie groß die Anzahl der Zwiſchenräume in den Häuten der Thiere ſey (wenn es überhaupt erlaubt iſt, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirkſamkeit der Salben und der Räucherungen ſchließen. Dieſem zu Folge iſt jeder Körper ein Aggregat von ſehr vielen, ſehr kleinen Theilchen, die ſich nicht allenthalben, vielleicht auch gar nicht berühren, man mag ſich dieſe Theilchen nach der atomiſtiſchen oder dynamiſchen Anſicht vorſtellen, und ſomit haben dieſe Vorſtellungsarten ſelbſt auf den eigentlichen Gang der Forſchungen über die Körperphänomene keinen weſentlichen Einfluß.

23. Ein und derſelbe Körper enthält nicht unter allen Umſtänden bei demſelben Volumen gleich viel Maſſe; denn die Erfahrung lehrt, daß ſich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper **ausdehnbar** und **zuſammendrückbar** iſt. Dieſes geſchieht durch mechaniſche, von Außen angebrachte Kräfte und durch Erwärmung und Erkältung. Befeſtiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem anderen Stoffe an einem Ende und bringt am anderen ein Gewicht an, das ihn zu verlängern ſucht, ſo bemerkt man auch eine entſprechende Verlängerung desſelben. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Cautſchouc läßt ſich ſchon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein ſolcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe, als er länger geworden iſt, ſo daß alſo eine wirkliche Vergrößerung des Volumens eingetreten iſt. Wird ein ſolcher Körper am unteren Ende aufgeſtemmt und von oben mit Gewichten belaſtet, ſo wird er zuſammengedrückt und ſein Volumen vermindert. Das kräftigſte Mittel, das Volumen eines Körpers zu ändern, iſt aber Erwärmung und Erkältung. Durch erſtere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert.

Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht, ſo lange ſie kalt iſt, bleibt in demſelben ſtecken, wenn man ſie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig engen Röhre verbunden iſt, mit einer Flüſſigkeit ſo weit an, daß dieſelbe in die Röhre reicht, ſo ſieht man ſie ſteigen, wenn Erwärmung eintritt; eine ſchlaffe Blaſe ſchwillt an, wenn ſie luftdicht zugebunden iſt und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel deſto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird, mit der Rückkehr der vorigen Wärme ſtellt ſich auch in der Regel wieder das vorige Volumen ein. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder ſich in der Hitze zuſammenziehen, ſtatt ſich auszudehnen, ſo kommt dieſes auf Rechnung verflüchtigter oder zerſtörter Stoffe oder des aufgehobenen Gefüges, und kann deshalb nicht als der Regel widerſprechend angeſehen werden.

Weil die Vergrößerung des Rauminhaltes in ſo genauer Verbindung mit der Erwärmung ſteht, ſo ſchließt man häufig von jener auf dieſe, ja es iſt die Größe der Ausdehnung eines Körpers der ſicherſte Maßſtab für die Größe der Erwärmung (Temperatur); denn die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt, kann nie einen ſolchen Maßſtab abgeben, weil ſie nicht allein von der Temperatur, ſondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Zuſtande der Wärme des Empfindenden abhängt. Den deutlichſten Beweis für dieſe Behauptung liefert aber der Umſtand, daß ein Körper in demſelben Zuſtande einer und derſelben Perſon bald warm, bald lau, bald kalt erſcheint.

24. Das Inſtrument, welches zum Meſſen der Temperatur dient und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt **Thermometer**. Man bedient ſich heut zu Tage drei verſchiedener Arten der Thermometer, nämlich der Queckſilber-, Weingeiſt- und der Luftthermometer. Hier ſoll nur von den zwei erſten die Rede ſeyn.

25. Das **Queckſilberthermometer** beſteht aus einer gläſernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemeſſenes, meiſtens kugelförmiges Gefäß angeblaſen iſt. Dieſes wird bis zu einer beſtimmten Höhe mit reinem trockenen Queckſilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Queckſilber ſelbſt, theils zwiſchen dem Glaſe und dem Queckſilber enthalten iſt, durch Kochen ausgetrieben. Meiſtens vertreibt man auch die Luft, welche ſich oberhalb des Queckſilbers befindet, und ſchmelzt dann

die Röhre zu; nur ſelten läßt man ſie offen. Ein ſo weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale verſehen. Zu letzterem Zwecke beſtimmt man zwei Puncte an der Röhre; den einen (Eispunct) dadurch, daß man ſie in aufthauendes Eis ſenkt, ſo lange darin läßt, bis ſich die Länge der Queckſilberſäule nicht mehr ändert, und dann den Punct am Glaſe anmerkt, der ihrem Ende entſpricht; den andern (Siedpunct), indem man ſie in reines, ſiedendes Waſſer hält und eben ſo verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorſichten letzteres zu geſchehen habe. Den Zwiſchenraum (Fundamentalabſtand) theilt man in gleiche Theile oder Grade und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celſius, in 180 nach Fahrenheit, und bezeichnet in den erſten zwei Fällen den Eispunct mit 0, im dritten mit 32, ſo daß dem Siedpuncte bei der Réaumur'ſchen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celſiſchen 100, bei der Fahrenheit'ſchen 180+32=212 entſpricht. Man kann dieſe Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpuncte und unter 0 fortſetzen und die Grade unter 0 negative oder Kältegrade nennen, zum Unterſchiede von denen über 0, welche man poſitive oder Wärmegrade heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. Gay-Luſſac lehrte ſie zuerſt aus ungleich weiten Röhren ſo verfertigen, daß zwiſchen je zwei auf einander folgenden Theilſtrichen gleiche Theile des Rauminhaltes der Röhre liegen. Man kann gleich an demſelben Thermometer mehrere Eintheilungen anbringen und auch die Grade einer Eintheilung in die einer anderen durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Réaumur R, die ihr entſprechende Anzahl nach Celſius C, nach Fahrenheit F, ſo iſt:

$$\tfrac{4}{9}(F-32)=R,\quad \tfrac{9}{4}R+32=F$$
$$\tfrac{4}{5}C=R\quad,\quad \tfrac{5}{4}R=C$$
$$\tfrac{5}{9}(F-32)=C,\quad \tfrac{9}{5}C+32=F$$

In Rußland bedient man ſich noch manchmal der Delisle'ſchen Thermometerſcale, nach welcher der Fundamentalabſtand in 150 gleiche Theile getheilt iſt. Der Siedpunct wird mit 0, der Eispunct mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Puncte ſeines Leinöhlthermometers den Schmelzpunct des Eiſes und die Wärme ſeines Körpers angenommen und den Abſtand in 12 gleiche Theile getheilt; erſt nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Puncte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabſtandes, zu welcher viele Vorſchläge gemacht wurden. Das erſte Thermome-

ter war ein Luftthermometer. Drebbel, ein holländiſcher Landmann, ſoll es im Jahre 1630 erfunden haben.

26. Sollen zwei Queckſilberthermometer übereinſtimmend ſeyn, d. h. ſollen ſie unter einerlei Umſtänden dieſelbe Anzahl Grade angeben; ſo müſſen ſie nicht allein genau auf dieſelbe Art in ihren weſentlichen Puncten verfertiget werden, ſondern es muß auch das angewandte Queckſilber von gleicher Natur und Reinheit ſeyn, die Temperaturen des aufthauenden Eiſes und des ſiedenden Waſſers müſſen beſtändig dieſelben bleiben und ſowohl der Eis- als der Siedpunct unverändert an dieſelbe Stelle fallen. Der Erfahrung gemäß iſt die Temperatur des reinen zerſtoßenen Eiſes oder des Schnees von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung ſichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo ſie mit Waſſer durchzogen ſind, vollkommen conſtant und zu allen Zeiten dieſelbe; mittelſt dieſes wird daher der Eispunct genau beſtimmt werden können. Die Hitze des ſiedenden reinen Waſſers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft und von der Tiefe der ſiedenden Schichte unter der Oberfläche des Waſſers ab. Man hat erfahren, daß Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden nur in allen metallenen Gefäßen bei demſelben Hitzegrade ſiedet, in gläſernen oder thönernen Gefäßen braucht es dazu eine höhere aber nicht bei allen gleiche Temperatur; deshalb ſoll die Beſtimmung des Siedpunctes ſtets in einem Metallgefäße geſchehen. Jedoch haben ſelbſt in einem ſolchen Gefäße nicht alle Schichten des ſiedenden Waſſers einerlei Hitze, ſondern dieſe iſt an der oberſten Schichte am geringſten und wächſt von oben nach unten ſo, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwiſchen der Hitze der oberſten und unterſten Schichte ein ſehr bedeutender Unterſchied herrſcht; darum ſoll bei der Beſtimmung des Siedpunctes immer nur der Queckſilberbehälter im Waſſer ſtehen, aber die Röhre bis zum Ende der Queckſilberſäule von Waſſerdunſt umgeben ſeyn. Aber ſelbſt die oberſte ſiedende Waſſerſchichte hat nur bei demſelben Luftdrucke dieſelbe Temperatur, wird aber deſto heißer, je ſtärker die Luft darauf drückt. Die Folge wird lehren, daß man den Luftdruck durch den Stand des Barometers erkennt. Deshalb ſoll man den Siedpunct entweder nur bei einem beſtimmten Barometerſtande, nämlich bei dem von 28 Pariſer Zoll beſtimmen, oder den bei einem anderen Stande gefundenen auf jenen reduciren. Nach Egens Beobachtungen, die ein beſonderes Zutrauen zu verdienen ſcheinen, ändert ſich der Siedpunct für eine

Variation des Barometerſtandes von 1 Linie rheinl. um 0°,0881 oder für eine Wiener Linie um 0°,0887, falls der Beobachtungsort nicht gar zu hoch liegt.

27. Wenn zwei Thermometer urſprünglich auch auf das genaueſte mit einander übereinſtimmen, ſo weichen ſie doch nach einiger Zeit von einander ab. Man hat die Erfahrung gemacht, daß der Eispunct an einem luftleeren Thermometer mit der Zeit etwas aufwärts rückt. Dieſe Veränderung iſt bei Thermometern mit Kugeln kleiner als bei den mit Cylindern, auch da kleiner, wo die Wände des Queckſilbergefäßes dicker ſind, als bei dünnen; offene Thermometer ſind ihr nicht ausgeſetzt. Es iſt kaum zu zweifeln, daß ſie von einer durch den äußeren Luftdruck mit der Zeit bewirkten Verkleinerung des Queckſilbergefäßes herrühre. Der Eispunct erleidet noch eine andere Veränderung, die an offenen und luftleeren Inſtrumenten auf gleiche Weiſe vor ſich geht und oft an Größe die vorige übertrifft. Er wird nämlich durch eine ſchnelle Erhitzung, beſonders wenn darauf ein ſchnelles Erkalten erfolgt, erniedriget, geht aber nach einiger Zeit von ſelbſt wieder in die Höhe. Endlich iſt noch zu bemerken, daß an einem vertical ſtehenden Thermometer die ganze Säule etwas weniges tiefer zu ſtehen kommt, als bei einer geneigten oder gar horizontalen Lage desſelben, weil durch den Druck der Queckſilberſäule das Queckſilbergefäß erweitert wird. Alle dieſe Veränderungen betragen zwar nur Bruchtheile eines Grades, dürfen aber doch bei genauen Beobachtungen nicht überſehen werden. Viel Lehrreiches hierüber liefern Poggendorfs Annalen Bd. 11. 276 u. 335, und 13. 33.

28. **Weingeiſtthermometer** ſind den Queckſilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weiſe verfertigt, nur mit dem Unterſchiede, daß man als thermometriſche Flüſſigkeit ſtatt Queckſilber gefärbten Weingeiſt nimmt. Wiewohl dieſer für ſich im Freien ſchon unter 100° *C* ſiedet, ſo kann man doch Weingeiſtthermometer verfertigen, welche die Hitze des ſiedenden Waſſers aushalten. Man braucht ſie nur ganz luftleer zu machen und dadurch das Entſtehen von Weingeiſtdünſten zu begünſtigen, die den Weingeiſt nicht zum Sieden kommen laſſen. Es iſt wohl an ſich klar, daß man zu allen Weingeiſtthermometern Weingeiſt von gleicher Stärke nehmen muß und daß ein Weingeiſt- und ein Queckſilberthermometer nicht mit einander übereinſtimmen werden. Sollen daher die Angaben beider mit einander verglichen werden können,

ſo muß man die derſelben Temperatur entſprechenden Grade beider kennen. Man zieht gewöhnlich aus guten Gründen das Queckſilberthermometer dem Weingeiſtthermometer vor und nimmt letzteres nur, wo eine zu große Kälte das Gefrieren des Queckſilbers befürchten läßt.

Von Luftthermometern und von den Differenzialthermometern wird ſpäter die Rede ſeyn. Über Thermometrographen, *Maximum*- und *Minimum*-Thermometer, ſo wie über die Verfertigung, Berichtigung und den Gebrauch der Thermometer überhaupt ſiehe den Supplementband S. 102—133, oder: Luz Anweiſung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1781. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer. Jena, 1824. Gehler's phyſ. Wörterbuch, Artikel Thermometer.

29. Für große Hitzgrade, die mittelſt der Thermometer nicht mehr beſtimmt werden können, bedient man ſich ſogenannter Pyrometer. Dieſe ſind noch bei weitem nicht auf einen ſo hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer. Am häufigſten bedient man ſich des Wedgewood'ſchen Pyrometers. Dieſes beruht auf der Eigenſchaft des Thones, ſich in der Hitze nach Verhältniß ihrer Intenſität zuſammenzuziehen und beim Abkühlen das kleinſte Volumen, das er hatte, beizubehalten. Es beſteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu meſſen. Dieſe Vorrichtung (Fig. 3) wird von 2 convergirenden etwa 12 Zoll langen Leiſten gebildet, die an einem Ende um 0.5 Zoll, am anderen um 0.3 Zoll von einander abſtehen und zwiſchen welche obige Cylinder deſto weiter hineingeſchoben werden können, je kleiner ſie ſind. Die Leiſten ſind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorſtellen. Die Cylinder werden aus eigens gemiſchtem Thone von Cornwallis gemacht, alle von gleicher Größe angetragen und hierauf bei 100° *C* getrocknet. Schon beim Trocknen ſchwinden ſie ungleich, ſo daß wohl einige genau bis zum Nullpunct der Scale mit der vorderen Kante zwiſchen die Leiſten geſchoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit hineinreichen. Um alle brauchen zu können, notirt man darauf die Zahl, um welche ein Stück zu klein oder zu groß iſt, und zwar erſtere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgeſtumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rückſicht nehmen könne. Die ſo regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meiſtens bis zum 5. oder 7. Grade.

Will man mit dieſem Inſtrumente eine hohe Temperatur beſtimmen, ſo bringt man einen ſolchen Thoncylinder dahin, wo ſie herrſcht, und läßt ihn daſelbſt, bis er die Temperatur ſeines Ortes angenommen hat, nimmt ihn dann hinweg, läßt ihn erkalten, ſchiebt ihn hierauf zwiſchen die zwei Leiſten, ſo weit es angeht, und lieſt den Grad der Scala ab, der ſeiner Vorderfläche entſpricht, berückſichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entſpricht der Nullpunct der Scale einer Temperatur von $1077° F = 580°.5\,C$ und jeder Grad $132° F = 73° \frac{1}{3} C$. Nach Guyton Morveau ſtimmt aber der Nullpunct der W. Scale mit $517° F$ und jeder Grad mit $62° \frac{1}{2} F$ überein. Übrigens ſetzt dieſes Inſtrument voraus, daß ſich der Thon ſeiner Temperatur proportional zuſammenziehe, eine Vorausſetzung, deren Richtigkeit ſchon darum ſtarken Zweifeln ausgeſetzt iſt, weil gleich beim erſten Trocknen nicht alle Cylinder gleich ſtark ſchwinden. Nach Daniell zieht ſich ein Thoncylinder in einer mäßigen, lange anhaltenden Hitze eben ſo ſtark zuſammen, wie in einer hohen, nur kurz dauernden. Darum iſt auf die Zuverläſſigkeit ſolcher Inſtrumente nicht viel zu bauen. Man hat deshalb auch andere pyrometriſche Vorrichtungen vorgeſchlagen. (Beſchreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu meſſen ꝛc., von J. Wedgewood. Aus dem Engliſchen. London, 1786.)

Guyton Morveau (*Mémoire de l'Acad.* 1808) mißt die Hitzegrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins, Daniell (*Edinb. philos. journ. N.* 10. 397) durch den Unterſchied zwiſchen der Ausdehnung des Platins und des Graphites, Mill (Zeitſch. 2. 75.) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarſten dürfte wohl Prinſep's Vorſchlag ſeyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpuncten verſchiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpuncte des Silbers, Goldes und Platins liegen ſo weit von einander, daß ſie recht wohl die fixen Puncte der Scale abgeben können, und für die Zwiſchengrade dienen die Schmelzpuncte verſchiedener Legirungen aus dieſen Metallen. Zwiſchen dem Schmelzpuncte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen und die zu ihrer Beſtimmung paſſenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber ſucceſſiv immer 10 Proc. Gold zuſetzt. Zwiſchen dem Schmelzpuncte des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze dieſen Graden entſpricht, indem man mit dem Golde ſucceſſiv 1 Proc. Platin verbindet. Es iſt kein Zweifel, daß

dadurch in die pyrometriſchen Beſtimmungen Übereinſtimmung gebracht wird, und da man von den Metallegirungen nur ſehr kleine Maſſen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes) und jede derſelben ſehr oft benützt werden kann; ſo dürfte dieſes Inſtrument wohl bald den erſten Platz einnehmen.

30. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterſchieden werden können, ergibt ſich ſchon aus der Eigenſchaft der Ausdehnung, die ihnen zukommt; daß aber dieſe Theile getrennt werden können, oder daß die Körper theilbar ſind, läßt ſich erſt aus der Erfahrung abnehmen, die lehrt, daß ſelbſt der härteſte aller Körper, der Diamant, wenigſtens durch ſein eigenes Pulver geſchliffen, mithin getheilt werden kann. Ob die Theilbarkeit ins Unendliche gehe, oder überhaupt, wie weit ſie gehe, läßt ſich auf dem Wege der Erfahrung nicht ausmachen; ſo viel iſt aber gewiß, daß einige Körper, wie z. B. die dehnbaren Metalle, die riechenden, leuchtenden und färbenden Stoffe, durch Kunſt in erſtaunungswürdig kleine Theile getheilt werden können. Aus einem Gran Gold ſchlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine ſilberne Stange von 22 Zoll Länge und $1\frac{1}{4}$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes und ziehen ſie dann zu einem Draht aus, der 97 franzöſiſche Meilen lang iſt; wird er noch dazu platt gedrückt, ſo erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen und iſt doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke ſo gering iſt, daß nach Blacks Berechnung 14 Millionen erſt die Dicke eines Zolls geben, während eben ſo viele Blätter gemeinen Druckpapiers $\frac{3}{4}$ engliſche Meilen einnehmen. Platin läßt ſich durch ein eigenes von Wollaſton angegebenes Verfahren zu Draht von $\frac{1}{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Ein kleines Stück Moſchus erfüllt ein ungeheures Zimmer mit ſeinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchsſinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchſtaben an eine Wand ſchreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Carmin färbt 20 Pfund Waſſer merklich roth und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $\frac{1}{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfiſchmilch von der Größe eines Sandkorns 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroſkopiſche Thiere, deren Bau ſo zuſammengeſetzt iſt, wie jener des Elephanten. — Zu den letzten, nicht

mehr theilbaren Theilen, Atomen, eines Körpers, kann man nicht durch wirkliche Theilung, ſondern nur im Gedanken gelangen. Solche Theile kann man annehmen, ohne gerade Atomiſt in der oben (19) angegebenen Bedeutung zu ſeyn; denn man kann ſich einen Körper immerhin als Aggregat ſolcher Theile vorſtellen, aus deren Verbindungsweiſe die Poroſität, Ausdehnbarkeit, Theilbarkeit hervorgeht, dieſe Theile ſelbſt aber auf dynamiſchem Wege gebildet denken. (Berzelius chemiſche Proport. Dresden, 1820. S. 24.) In dieſem Sinne iſt das Wort Atom, wenn es in der Folge gebraucht wird, ſtets zu nehmen. *(Boyle de mira subtilitate effluviorum in op. var. Gen.* 1677.*)*

31. Alle Körper haben ein Beſtreben zur Erde zu fallen, welches ſie durch den wirklichen Fall oder durch den Druck auf ihre Unterlage äußern. Man ſagt daher, ſie ſeyen ſchwer und rechnet die Schwere zu den allgemeinen Eigenſchaften der Körper. Dem Rauche, den Wolken u. d. gl. kann man eben ſo wenig die Schwere abſprechen, weil ſie in der Luft aufwärts ſteigen, als man ſie einem Stücke Korkholz abſpricht, weil es ſich im Waſſer erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, ſondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umſtand, daß man bei der Theilung derſelben in die kleinſten Stücke jedes ſchwer findet. Die Richtung eines frei fallenden Körpers heißt verticale Richtung. Sie wird durch einen biegſamen, von einem ſchweren, frei hängenden Körper geſpannten Faden angezeigt. Eine darauf ſenkrechte Linie oder Ebene heißt horizontal. Der Erfahrung gemäß ſind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren ſie gegen die Erde zu. An demſelben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerſtehenden Mittel, alle Körper gleich ſchnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es ſind daher auch alle gleich ſchwer. In weit von einander entfernten Orten iſt die Schwere desſelben Körpers verſchieden. Man nimmt deshalb die Schwere an einem beſtimmten Orte als Einheit an und drückt ſie an einem anderen Orte durch die Zahl aus, welche anzeigt, wie oft ſie jene Einheit enthalte. Man ſieht die Erſcheinungen der Schwere als Erfolg einer anziehenden Kraft an, welche die Erde auf alle Körper ausübt, und die deshalb Schwerkraft genannt wird.

32. Der Druck, den ein Körper auf ſeine horizontale Unter-

lage vermög ſeiner Schwere ausübt, heißt ſein Gewicht. Weil alle Theile eines jeden Körpers gleich ſchwer ſind, ſo iſt das Gewicht der Maſſe proportionirt und daher ihr wahres Maß. Deshalb beſtimmt man auch im gemeinen Leben die Maſſe durch das Gewicht. Das Gewicht eines Körpers ohne Rückſicht auf ſeinen Rauminhalt, heißt ſein abſolutes Gewicht. Dieſes beſtimmt man dadurch, daß man ein beliebiges Gewicht als Einheit annimmt und mittelſt Abwägen findet, wie vielmal dieſe Einheit in dem zu unterſuchenden Gewichte enthalten iſt.

In Frankreich hat man das Gewicht des reinen Waſſers in einem hohlen Würfel, deſſen eine Seite einem Centimeter gleich kommt, bei einer Temperatur von 2°.7 R. als Einheit angenommen und Gramme genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tauſendtel davon heißt Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tauſendfache desſelben Decagramme, Hectogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Centner, ein Pfund, ein Loth ꝛc. als Einheit des Gewichts an; in jedem Lande iſt die Größe einer ſolchen Einheit geſetzlich beſtimmt. So beträgt ein Wiener Pfund Handelsgewicht 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13.714 Gran des Wiener Gewichtes.

Unter dem Ausdrucke: Einheit des Gewichtes, oder Gewicht = 1 ſoll in der Folge ſtets ein Pfund verſtanden werden, wenn nicht ausdrücklich ein anderer Werth feſtgeſetzt wird.

33. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartiger Körper von verſchiedenem Volumen bei gleicher Wärme, ſo findet man, daß ſie im geraden Verhältniſſe mit den Rauminhalten ſtehen. Dieſes iſt aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demſelben Volumen mehr Gewicht hat als ein anderer, dichter und ſtellt ſich vor, daß dieſes von der größeren Menge der Materie in demſelben Raume herrühre. Gäbe es einen Körper ohne Zwiſchenräume, ſo könnte man ſeine Maſſe mit der aller übrigen vergleichen, ihr Verhältniß durch Zahlen ausdrücken und ſo die abſolute Dichte derſelben finden; da es aber keinen ſolchen Körper gibt, ſo kann man auch nur die relative Dichte der Körper angeben. Zu dieſem Behufe nimmt man die Maſſe des reinen Waſſers unter dem Volumen = 1 als Einheit der Maſſe an, ſetzt auch die Dichte des Waſſers = 1, und drückt die Dichte jedes anderen Körpers durch eine Zahl aus, welche anzeigt, wie oft ſeine Maſſe die des Waſſers unter demſelben Volumen in ſich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes

durch 19 aus, weil ein Kubikfuß desſelben 19mal mehr Maſſe hat, als ein gleich großes Volumen Waſſer. Die Zahl, welche die Dichte eines Körpers ausdrückt, zeigt daher die relative Menge ſeiner Maſſe unter dem Volumen = 1 an.

34. Heißt P das Gewicht eines Körpers, V ſein Volumen, D ſeine Dichte, g ſeine Schwere in einem gegebenen Orte; ſo iſt VD ſeine Maſſe und $VDg = P$ ſein Gewicht. Das Gewicht eines Körpers unter dem Volumen = 1 nennt man ſein **eigenthümliches** oder **ſpecifiſches** Gewicht. Setzt man daher in VDg das Volumen $V = 1$, ſo erhält man Dg als Ausdruck für das ſpecifiſche Gewicht. Bezeichnet man dieſes mit S, ſo hat man auch $P = VS$ oder $S = \frac{P}{V}$. Haben für einen zweiten Körper d und s dieſelbe Bedeutung, wie für den erſten D und S, ſo wird für einerlei Werth von g

$$S : s = D : d$$

oder es **verhalten ſich die ſpecifiſchen Gewichte wie die Dichten**. Aus dieſem Grunde darf man manchmal das ſpecifiſche Gewicht mit der Dichte verwechſeln.

35. Man drückt das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers auf eine zweifache Weiſe aus: 1) Durch das abſolute Gewicht unter dem Volumen = 1, wie z. B. wenn man ſagt, ein Kubikfuß Waſſer wiegt $56\frac{1}{2}$ Pfund. Dieſes iſt der eigentliche Ausdruck des ſpecifiſchen Gewichtes. 2) Durch eine Zahl, welche anzeigt, wie vielmal in dem Gewichte des fraglichen Körpers unter dem Volumen = 1 das Gewicht des reinen Waſſers unter demſelben Volumen und bei einer beſtimmten Temperatur enthalten iſt. Es wird zwar dadurch nur der Exponent des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte angezeigt, man erlangt aber den Vortheil, eine von der Verſchiedenheit der Gewichtseinheiten und der Raummaße verſchiedener Länder unabhängige Angabe zu erhalten. Beide Arten, das ſpecifiſche Gewicht der Körper auszudrücken, laſſen ſich leicht in einander verwandeln: Iſt z. B. das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers nach (1) gleich p, das ſpecifiſche Gewicht irgend eines Körpers nach (1) gleich q, nach (2) gleich s, ſo hat man

$$q = ps \text{ und } s = \frac{q}{p}.$$

Das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers nach der zweiten Bedeutung und die Dichte desſelben werden durch dieſelbe Zahl bezeichnet; darum werde ich in der Folge das ſpecifiſche Gewicht ſtets nach der erſten Bezeichnung angeben.

Zweites Kapitel.

Verſchiedenheit der Körper im Allgemeinen.

36. Die Körper unterſcheiden ſich von einander dem Äußeren nach durch ihren Aggregationszuſtand, dem Inneren nach durch ihre chemiſche Beſchaffenheit; von beiden Unterſchieden ſoll nun ausführlicher geſprochen werden.

A. Aggregationszuſtand.

37. Unter Aggregationszuſtand verſteht man die Art der Verbindung der Theile eines Körpers unter einander. In Rückſicht dieſer Verbindung laſſen ſich alle Körper in zwei Claſſen bringen, in die der feſten und in die der flüſſigen. Feſt heißt ein Körper, deſſen Theile zu ihrer Verſchiebung eine merkliche Kraft erfordern; flüſſig, deſſen Theile abſolut leicht verſchiebbar ſind. Die flüſſigen Körper zerfallen wieder in tropfbar flüſſige und in ausdehnſam flüſſige. Erſtere ſind ſchwer zuſammendrückbar, letztere laſſen ſich leicht zuſammendrücken und ſuchen ihren Raum beſtändig zu erweitern. Der Kürze wegen werde ich in der Folge die tropfbar flüſſigen ſchlechtweg tropfbare nennen. Man iſt ſeit langer Zeit her gewohnt, die ausdehnſamen Körper in Gaſe und in Dünſte einzutheilen, wovon erſtere bei jedem Druck und bei jedem Kältegrade ausdehnſam bleiben, während letztere durch Zuſammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zuſtand übergehen. Allein in der neueren Zeit hat man die meiſten Körper, die man ſonſt für Gaſe hielt, tropfbar dargeſtellt und es wahrſcheinlich gemacht, daß der Unterſchied zwiſchen Gaſen und Dünſten nicht weſentlich ſey. Weil es aber das Auffaſſen der Erſcheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche meiſtens im ausdehnſamen Zuſtande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnſam bald tropfbar erſcheinen, auch durch die Bezeichnung unterſcheidet, ſo wollen wir diejenigen Gaſe nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck ſtets ausdehnſam ſind, und mit dem Worte Dunſt diejenigen bezeichnen, welche ſich unter dieſen Umſtänden bald ausdehnſam bald tropfbar zeigen. Man kann die kleinſten Theile flüſſiger Körper nicht ſelbſt wieder als flüſſig, d. h. abſolut verſchiebbar anſehen, denn das Verſchiebbare muß ja ſelbſt wieder aus Theilen be-

ſtehen, ſondern man muß den flüſſigen Zuſtand als das Reſultat einer beſonderen Verbindungsweiſe der (feſten) Atome anſehen. Vielleicht rührt es von der verſchiedenen Größe dieſer Atome her, daß ein Glasgefäß mit einem feinen Sprunge, die atmoſphäriſche Luft vollkommen zurückhält, während Waſſerſtoffgas durch daſſelbe entweicht.

38. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes kann keine innere Verſchiedenheit der Körper begründen und es kann derſelbe Körper ohne Änderung ſeiner inneren Natur in allen drei Aggregationsformen erſcheinen, wie wir dieſes am Waſſer ſehen, das im Winter als Eis feſt, im Sommer tropfbar, beim Kochen gar ausdehnſam, als Waſſerdunſt, erſcheint. Dieſe Umwandlung des Aggregationszuſtandes bewirkt die Wärme und ein Druck von beſtimmter Größe. Denn durch Erhöhung der Temperatur, bis zu einem von der Natur einzelner Körper abhängigen Grade, werden feſte Maſſen tropfbar flüſſig und tropfbare ausdehnſam, während durch Verminderung der Temperatur gerade entgegengeſetzte Erſcheinungen erfolgen. Wenn es uns auch nicht gelingt, alle Körper durch Erwärmung oder Erkältung in allen drei Zuſtänden darzuſtellen; ſo kann man doch immerhin annehmen, es fehlen uns blos die Mittel, den dazu nöthigen Wärme- oder Kältegrad zu erzeugen, ausgenommen die Fälle, in welchen Körper eher chemiſch zerſetzt werden, als ſich ihr Aggregationszuſtand ändert. Durch mechaniſchen Druck laſſen ſich viele ausdehnſame Körper in tropfbar flüſſige verwandeln. Perkins will ſogar die atmoſphäriſche Luft in eine tropfbare waſſerhelle Maſſe verwandelt haben. Vorzüglich wirkſam zeigt ſich diejenige Art der Compreſſion, welche ein ausdehnſamer Körper auf ſich ſelbſt ausübt und die Faraday zuerſt mit dem beſten Erfolge angewendet hat. Da wird der Stoff, welcher das Gas liefern ſoll, in eine hinreichend dicke Glasröhre luftdicht eingeſchloſſen und hierauf das Mittel angewendet, wodurch die Gasentwicklung hervorgebracht wird. Iſt dieſes kräftig genug und das Glas hinreichend ſtark, ſo wird ſich anhaltend Gas erzeugen und das bereits vorhandene ſo weit verdichten, daß es tropfbar wird.

Die Gaſe, welche auf dieſe Weiſe zu tropfbaren Flüſſigkeiten wurden, ſind: Schwefeligſaures Gas, Cyangas, Chlorgas, Ammoniakgas, Schwefelwaſſerſtoffgas, Salzſäuregas, Kohlenſäuregas, Stickſtoffoxydgas.

39. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes läßt ſich nicht wieder aus Erſcheinungen herleiten; man nimmt daher zu Kräften ſeine Zuflucht, die als der Materie zugehörig gedacht werden. Folgende Anſicht ſcheint der Sache am meiſten zu genügen, wird aber erſt in der Folge (II. Abſch. 4. u. 5. Kap.) hinreichend detaillirt werden: Jeder Körper iſt ein Aggregat von kleinen materiellen Maſſen, die ein beſtändiges Beſtreben ſich zu vereinigen beſitzen, welches man mit dem Worte Anziehung bezeichnet. Dieſes iſt keine hypothetiſche Vorausſetzung (ſo lange man dieſe Anziehung nicht näher beſtimmt), ſondern eine Thatſache, die durch den bei der Verſchiebung oder Trennung feſter Körper ſich äußernden Widerſtand überhaupt bewieſen iſt und in der Folge an den Phänomenen der Kryſtalliſation und der Haarröhrchen eine noch nähere Beſtätigung erhalten wird. Wäre dieſes Beſtreben der Theile zur gegenſeitigen Annäherung das einzige in der Materie herrſchende, ſo würden ſich dieſe Theile einander bis zur Berührung nähern und es müßte dann ein Körper immer daſſelbe Volumen beibehalten. Weil aber dagegen die beſtimmteſten Erfahrungen ſtreiten, ſo muß es Etwas geben, das der Anziehung entgegenwirkt und deshalb Abſtoßung genannt werden kann. Man kann (nach 11) dieſe uns unbekannte Urſache der Anziehung Anziehungskraft, die der Abſtoßung Abſtoßungskraft nennen und behaupten, daß dieſe zwei, einander entgegengeſetzten Kräfte die Lage und Verbindung der kleinſten Maſſentheilchen eines Körpers, mithin auch ſein Volumen und ſeinen Aggregationszuſtand, beſtimmen. So wie äußere Umſtände die Wirkſamkeit der einen oder der anderen dieſer Kräfte begünſtigen, wird ſich das Volumen vergrößern oder verkleinern oder es wird gar eine Änderung im Aggregationszuſtande erfolgen. Es iſt nicht ausgemacht, ob die Abſtoßungskraft gleich der Anziehungskraft der Materie eigenthümlich zugehöre oder ob ſie blos von der Wärme herrühre, welche die Theile der Körper umgibt. Indeß hat dieſe Ungewißheit auf unſere Forſchungen keinen Einfluß, weil es hauptſächlich nur auf die Geſetze ankommt, nach welchen jene Kräfte wirken.

B. Chemiſche Beſchaffenheit der Körper.

40. Es iſt einleuchtend, daß nicht alle Verſchiedenheit der Körper von der Verbindungsweiſe ihrer kleinſten Theile herrühre, ſondern daß man auch materielle Verſchiedenheiten

annehmen müſſe. Kein Aufmerkſamer wird wohl, des gleichen Aggregationszuſtandes ungeachtet, Waſſer mit Baumöhl, Eiſen mit Glas verwechſeln. An manchem Körper erkennt man die materielle Verſchiedenheit ſchon unmittelbar durch die Sinne, allein in vielen Fällen mangeln derlei ſinnliche Kriterien gänzlich, oder ſie ſind in zu geringem Grade vorhanden oder endlich gar trüglich. So unterſcheiden wir allerdings Waſſer von Weingeiſt durch den Geſchmack, Eiſen von Glas durch Farbe und Durchſichtigkeit ꝛc., allein die atmoſphäriſche, zum Athmen geeignete Luft, läßt ſich von dem beim Verbrennen der Kohle erzeugten Gaſe durchaus nicht durch ein unmittelbares, ſinnliches Merkmal unterſcheiden. Glücklicher Weiſe wirken verſchiedene Körper durch eigene, innere Kräfte ſo auf einander, daß man ſie dadurch von einander zu unterſcheiden vermag, wenn man mit dieſen Wirkungen vertraut iſt. Dieſe Kraft zielt im Allgemeinen dahin, die kleinſten Theile ungleichartiger Körper zu einem durchaus gleichartigen Ganzen (zu einem chemiſchen Producte) zu verbinden und heißt chemiſche Anziehung. Von Körpern, denen dieſe Kraft zukommt, ſagt man, ſie haben eine chemiſche Verwandtſchaft oder Affinität zu einander. Dieſe Kraft iſt der Materie ſelbſt noch in den kleinſten Quantitäten eigen und unterſcheidet ſich weſentlich von den Kräften, durch welche der Aggregationszuſtand beſtimmt wird, und von der Schwerkraft, indem ſie nicht wie dieſe Kräfte eine bloße Annäherung und ein Aneinanderhaften der Körper, ſondern eine Umänderung ihrer inneren Natur bewirkt und ganz beſondere Geſetze befolgt, über welche nur die Erfahrung Kunde gibt. — Das Product, welches aus der Wirkſamkeit der chemiſchen Kräfte hervorgeht (oder auch den Prozeß, wodurch es gebildet wird), nennt man eine chemiſche Miſchung, oder wenn ſich ein feſter Körper mit einem flüſſigen zu einem flüſſigen Producte vereiniget, eine Auflöſung, zum Unterſchiede von dem Producte einer blos mechaniſch wirkenden Kraft, welches ein Gemenge heißt. Die Körper, aus denen die Miſchung entſteht, heißen die Beſtandtheile des Productes. Jeder Körper, der chemiſche Beſtandtheile hat, heißt chemiſch zuſammengeſetzt.

41. Nicht alle Körper haben zu einander eine chemiſche Verwandtſchaft, ſondern nur jene, die ihrer Natur nach ſehr verſchieden ſind. Selbſt bei ſolchen Körpern, die eine Verwandtſchaft zu einander haben, wirkt dieſe nur bei der Berührung derſel-

ben, falls ſie überhaupt im Stande iſt, die etwaigen Hinderniſſe der Verbindung zu überwältigen. Solche Hinderniſſe ſind: 1) die Kraft, mit welcher die homogenen Theile desſelben Körpers auf einander wirken (die Cohäſionskraft). Bei feſten Körpern iſt dieſe Kraft in der Regel zu groß, als daß ſie von der Affinität überwältiget werden könnte; darum verbinden ſich ſolche Stoffe in der Regel nicht mit einander, ſondern es muß wenigſtens einer derſelben flüſſig ſeyn, er mag auf trockenem Wege (durch Wärme) oder auf naſſem (durch Auflöſen im Waſſer) in den flüſſigen Zuſtand verſetzt worden ſeyn (*corpora non agunt niſi fluida*, ſagten die alten Chemiker). Manchmal führt wohl ſchon das chemiſche Aufeinanderwirken der Stoffe ſelbſt die zu ihrer Verbindung nöthige Schmelzung herbei, wie dieſes bei Eis und Kochſalz der Fall iſt. Auch die Wirkung eines flüſſigen Körpers auf einen feſten erfolgt deſto leichter und ſtärker, je geringer der Zuſammenhang ſeiner Theile iſt. So z. B. greift Scheidewaſſer eine Silbermünze an den erhabenen Stellen, wo die Theile weniger Preſſung erhalten haben, leichter an, als an den mehr gepreßten vertieften, ſo daß man durch dieſes Mittel an abgegriffenen Münzſtücken die Prägung wieder ſichtbar machen kann. Erhöhung der Temperatur vermindert den Zuſammenhang der Theile und begünſtigt dadurch die Einwirkung der chemiſchen Kräfte; nur wenn die Wärme ſo weit ſteigt, daß ſie der abſtoßenden Kraft der Körpertheile zu großes Übergewicht gibt und den ausdehnſamen Zuſtand erzeugt, kann ſie als Hinderniß der chemiſchen Kraft entgegenwirken und deren Wirkung hemmen oder ſogar aufheben. So verbinden ſich Sauerſtoff und Queckſilber bei der Siedhitze des letzteren nicht mit einander, wiewohl ihre Verbindung bei einer geringeren Temperatur nicht unterbleibt. 2) Die Schwere. Wird Gold und Silber in einem Tiegel zuſammengeſchmolzen, ſo iſt der untere Theil der Miſchung ſtets goldhaltiger als der obere. 3) Die Lebenskraft. In der Regel vermögen chemiſche Kräfte auf lebende Organismen nur wenig, und erſt nach dem Erlöſchen der Lebenskraft tritt ihre volle Wirkſamkeit ein. 4) Die Electricität. Ein beſtimmter electriſcher Zuſtand kann das Einwirken chemiſcher Körper gänzlich hindern, worüber in der Electricitätslehre das Nähere vorkommen wird. — Es iſt für ſich klar, daß man durch Vergrößerung der Berührungsfläche zwiſchen den Stoffen, die ſich verbinden ſollen, mithin durch Zertheilen der Stoffe, ſo wie durch Umrühren (Wechſeln der ſich be-

rührenden Stellen) die chemiſche Verbindung erleichtern und beſchleunigen kann. Daher mag es auch kommen, daß ein Stoff am liebſten eine Verbindung eingeht, wenn er gerade einen anderen verläßt, denn da befindet er ſich gewiß im Zuſtande der feinſten Vertheilung. Oft geſchieht es, daß zwei Stoffe nicht den zu ihrer chemiſchen Verbindung nöthigen Grad der Verwandtſchaft beſitzen, aber durch einen dritten, der auch zu keinem der erſteren eine Affinität hat, wohl aber zum Producte ihrer Verbindung, zur gegenſeitigen Vereinigung disponirt werden. So iſt z. B. die Verwandtſchaft des Sauerſtoffes zum Stickſtoff in der Atmoſphäre nicht ſo ſtark, daß er ſich mit ihm zur Salpeterſäure verbinden könnte; durch Einwirkung des Alkali aber, das weder zum Sauerſtoff noch zum Stickſtoff eine Affinität zeigt, wohl aber zur Salpeterſäure, kann ihre Verbindung zu Stande kommen. Man benützt dieſen Umſtand bei unſeren Salpeterplantagen.

42. Einige Stoffe verbinden ſich in allen möglichen Verhältniſſen mit einander, z. B. Weingeiſt und Waſſer; andere können ſich innerhalb gewiſſer Grenzen in allen denkbaren Verhältniſſen mit einander vereinigen, über dieſe Grenze hinaus gehen ſie aber keine Verbindung ein. So z. B. nimmt Waſſer zwar nur eine beſtimmte Menge Kochſalz (nahe 27 *p. c*) auf, aber unter dieſer Menge iſt in jedem Verhältniſſe eine Verbindung möglich. Wenn ein Körper von einem anderen ſo viel aufgenommen hat, als er vermag, heißt er geſättiget. Die Sättigungsmenge hängt nicht blos von der Natur der Stoffe, ſondern auch von ihrer Temperatur ab. Haben zwei Körper durch gegenſeitige Vereinigung ihre characteriſtiſchen Eigenſchaften eingebüßt, ſo heißen ſie neutraliſirt. (Bei Salzen hat der Begriff Neutraliſirung eine andere Bedeutung, wovon in der Folge mehr.) Neutraliſirung iſt demnach von Sättigung weſentlich verſchieden, es kann ein Körper mit einem anderen geſättiget und doch nicht durch ihn neutraliſirt ſeyn, wie dieſes bei einer geſättigten Auflöſung von Kochſalz in Waſſer der Fall iſt, und in einem neutralen Gemiſche ſind die Beſtandtheile nicht immer geſättiget. Bei Verbindungen, die in allen möglichen Verhältniſſen vor ſich gehen, gibt es in der Regel keine Neutraliſirung.

43. Verbindungen, bei denen ſtarke Verwandtſchaften im Spiele ſind, erfolgen ſtets nur in beſtimmten Verhältniſſen. So verbinden ſich ſtets nur 100 Th. Schwefelſäure mit 71 Th. Kalk

zu Gips; nimmt man mehr Schwefelſäure, ſo bildet ſich zwar auch Gips, aber es bleibt ein Theil Schwefelſäure frei zurück; nimmt man mehr Kalk, ſo erfolgt dasſelbe, aber es bleibt freier Kalk übrig. Zwiſchen vielen Körpern gibt es nur ein einziges Verhältniß, in welchem ſie ſich verbinden, bei manchen aber kennt man mehrere Verhältniſſe. Wo dieſes der Fall iſt, da ſtehen die Gewichtsmengen eines Körpers, die ſich mit demſelben Stoffe verbinden, in einem Verhältniſſe, das ſich durch ganze Zahlen ausdrücken läßt. Verbinden ſich zwei Körper mit einander, die einen gemeinſchaftlichen Beſtandtheil enthalten, zu einem neutralen Producte; ſo geſchieht dieſes in einem ſolchen Verhältniſſe, daß die Menge des gemeinſchaftlichen Stoffes in dem einen ein Vielfaches von der Menge desſelben Stoffes im anderen iſt. Wenn ſich ein Stoff mit einem anderen in mehreren Verhältniſſen verbindet; ſo nennt man die Verbindung aus der geringſten Gewichtsmenge desſelben die erſte, die mit der nächſt größeren die zweite und endlich die mit der größten die höchſte Verbindungsſtufe.

Silicium und Sauerſtoff verbinden ſich in einem einzigen Verhältniſſe, Queckſilber und Sauerſtoff in zweien, und zwar vereinigen ſich 100 Th. Queckſilber mit 4 Th. und mit $8=2\times4$ Th. Sauerſtoff; Stickſtoff geht mit Sauerſtoff eine vierfache Verbindung ein, nämlich es verbinden ſich 177 Th. Stickſtoff mit 100, dann mit 200, ferner mit 300 und 500 Th. Sauerſtoff. Verbindet ſich Schwefelſäure mit Eiſenoxydul zu einem neutralen Gemiſche, ſo braucht man zu 100 Th. des Productes 46.706 Th. Schwefelſäure und 53.294 Th. Eiſenoxydul, und dieſe Menge Eiſenoxydul enthält 10.63 Th. Sauerſtoff, die dasſelbe neutraliſirende Schwefelſäure hingegen 31.88 Th., mithin faſt gerade dreimal ſo viel.

Wenzel, ein deutſcher Chemiker, ſcheint ſchon (im Jahre 1777) auf die beſtimmten Verhältniſſe der ſich verbindenden Körper aufmerkſam gemacht und ſie durch Verſuche nachzuweiſen geſucht zu haben, allein Richter hat ſich zuerſt darüber beſtimmt ausgeſprochen und ſie aus des erſteren Verſuchen nachgewieſen, er fand aber bei ſeinen Zeitgenoſſen wenig Eingang, theils weil ſeine eigenen Verſuche wenig Genauigkeit beſaßen, theils aber, weil Lavoiſier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerkſamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anſpruch genommen hatte, und ſo blieb die Sache auf ſich ſelbſt beruhen, bis Prouſt die Verbindung der Metalle mit Sauerſtoff und Schwefel in beſtimmten Verhältniſſen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwiſchen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Luſſac die

wichtige Entdeckung, daß ſich Gaſe ſtets in ſehr einfachen Raumverhältniſſen mit einander verbinden, und zwar immer 1 Volumen des einen mit 1, 2, 3 ꝛc. Volumina des anderen, ein Verhalten, das ſchon früher Dalton gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemiſt Berzelius ſeine Aufmerkſamkeit auf dieſen Gegenſtand gerichtet und ihn durch höchſt genaue und ſinnreiche Verſuche ſo feſt begründet, daß alle Zweifel darüber verſtummen mußten.

44. Nicht alle chemiſch mit einander verwandten Stoffe haben zu einander denſelben Grad der Verwandtſchaft; darum kann auch einer den anderen aus ſeiner Verbindung mit einem dritten verdrängen und ſich ſelbſt mit ihm verbinden. Setzt man z. B. dem Glauberſalze, das aus Schwefelſäure und Natrum beſteht, Kalk zu, ſo verbindet ſich dieſer mit der Schwefelſäure zu Gips und ſcheidet das Natrum aus. Weil ſich hier ein Stoff gleichſam einen Beſtandtheil auswählt, ſo ſagt man: der neue Körper (Gips) werde durch einfache Wahlverwandtſchaft gebildet. Es gibt aber auch Fälle, wo ſich zwei zuſammengeſetzte Stoffe *AB* und *CD* gegenſeitig zerſetzen und zwei neue *AC* und *BD* erzeugt werden. Da ſagt man, trete die doppelte Wahlverwandtſchaft ein. Duplicatſalz (aus Kali und Schwefelſäure beſtehend) und Mauerſalpeter (deſſen Beſtandtheile Salpeterſäure und Kalk ſind) zerlegen ſich gegenſeitig und geben Gips (Schwefelſäure mit Kalk verbunden) und Salpeter (Kali in Verbindung mit Salpeterſäure). — Eine Zerlegung eines chemiſch zuſammengeſetzten Körpers läßt ſich aber nicht blos durch Zuſatz eines Stoffes, ſondern auch durch andere Mittel bewirken, wie z. B. durch Wärme und Kälte, durch Licht und Electricität. So gewinnt man z. B. durch Hitze aus der Salzſoole das Kochſalz (durch Verdampfen des Waſſers), aus dem rothen Queckſilberkalke das Queckſilber, aus dem gemeinen Kalkſteine den ätzenden Kalk (durch Glühen des erſteren), aus wäſſeriger Eſſigſäure die concentrirte (durch Frieren des Waſſers), ſo ſcheidet das Licht aus dem Chlorſilber das reine Silber aus; die Electricität bewirkt die ſchwierigſten Zerſetzungen.

Durch Zerlegen der Körper mittelſt Wahlverwandtſchaft lernt man die Verwandtſchaftsgrade der Körper zu einander kennen und wird in den Stand geſetzt, ſie nach dem Maße ihrer Verwandtſchaft zu irgend einem Stoff zu ordnen und Verwandtſchaftstabellen zu conſtruiren. So z. B. lehrt die Erfahrung, daß ſchwefelſaures Ammoniak durch Natrum, ſchwefelſaures Natrum durch Kali, ſchwefelſaures Kali durch Kalk, ſchwefelſaurer Kalk durch Strontian, zerſetzt wird, mithin daß die genannten Körper nach ihrer Verwandt-

ſchaft zur Schwefelſäure ſo auf einander folgen: Ammoniak, Natrum, Kali, Kalk, Strontian. Doch darf man hierbei nicht vergeſſen, daß oft äußere Umſtände die Verwandtſchaftsgrade ſtark abändern, und entweder keine reinen oder gar keine Ausſcheidungen Statt finden, wo ſie den vorausgeſetzten Verwandtſchaftsgraden zu Folge eintreten ſollten. Solche Abweichungen werden oft durch den Umſtand erzeugt, daß ein Körper nicht blos durch ſeine Verwandtſchaft, ſondern auch durch ſeine Maſſe wirkt, und daher das Reſultat ſeiner chemiſchen Wirkung von dem Producte dieſer beiden Größen (vom chemiſchen Momente) abhängt. Es kann darum ein Körper mit geringer Verwandtſchaft und großer Maſſe einen anderen, deſſen Verwandtſchaft größer, deſſen Maſſe aber viel kleiner iſt, aus ſeiner Verbindung vertreiben. Auf dieſe Weiſe vertreibt die Salpeterſäure die viel ſtärkere Schwefelſäure aus ihrer Verbindung mit Kali. Ähnliche Anomalien bewirkt ein hoher Grad von Flüchtigkeit eines Stoffes oder die große Auflösbarkeit desſelben in dem Mittel, worin er ſich bildet, wohl auch die Temperatur. Deshalb vertreibt die feuerfeſte Borſäure die viel ſtärkere aber flüchtige Salpeterſäure aus ihren Verbindungen bei einem hohen Hitzegrade; eben ſo zerſetzt die Weinſäure die Auflöſung von ſalpeterſaurer Kalkerde und bildet die leicht im Waſſer lösliche, weinſaure Kalkerde, wiewohl die Salpeterſäure der Kalkerde näher verwandt iſt, als die Weinſäure. Wie ſehr die Temperatur die Verwandtſchaft modificire, zeigt das Verhalten des Sauerſtoffes zum Queckſilber, der ſich bei geringer Wärme leicht mit demſelben verbindet, bei höherer aber nicht.

45. Wenn ein neutraler Stoff AB durch einen anderen C zerſetzt wird, und ſich wieder ein neutrales Gemiſch AC bildet, ſo erſetzen ſich die Mengen von B und C wechſelſeitig und können daher chemiſche Äquivalente genannt werden. So z. B. ſind 71 Theile Kalk und 78 Th. Natrum chemiſche Äquivalente, weil jede dieſer Mengen mit 100 Th. Schwefelſäure ein neutrales Product liefert. Der Erfahrung gemäß gehen aus der Zerſetzung zweier neutraler Stoffe Aa und Bb durch doppelte Wahlverwandtſchaft wieder neutrale Producte Ab und Ba hervor und es neutraliſiren daher die Mengen a und b ſowohl A als B. Wiewohl man daher zur Neutraliſirung einer beſtimmten Menge eines Stoffes A mit verſchiedenen anderen a, b, c ꝛc. verſchiedene Mengen der letzteren braucht; ſo ſtehen doch die Mengen a, b, c ꝛc. für A in demſelben Verhältniſſe, wie für jeden anderen Stoff B. So z. B. werden 100 Th. Schwefelſäure durch 42.7 Th. Ammoniak, durch 117.7 Th. Kali, durch 78 Th. Natrum ꝛc., 100 Th. Salzſäure aber durch 47 Th. Ammoniak, 129.5 Th. Kali und durch 85.8 Th. Na=

trum neutraliſirt, und man hat 42.7 : 117.7 : 78 = 47 : 129.5 : 85.8 oder zur Neutraliſirung von 100 Th. Schwefelſäure braucht man eben ſo viel Ammoniak, Kali, Natrum ꝛc., wie zur Neutraliſirung von 90.8 Th. Salzſäure. Dieſes Vermögen eines Stoffes in einer gewiſſen Menge ein beſtimmtes Quantum eines anderen zu neutraliſiren, wird ihm durch eine bereits eingegangene Verbindung nicht benommen. So werden 100 Th. Schwefelſäure durch die angegebenen Quantitäten Ammoniak, Kali ꝛc. neutraliſirt, die Säure mag dieſen Körpern frei, oder in Verbindung mit Bittererde, im Bitterſalze dargeboten werden.

46. Dem Vorhergehenden gemäß kommt jedem Körper ein beſtimmter nummeriſcher Werth zu, der das geringſte Quantum von ihm bezeichnet, das ſich mit einer beſtimmten Menge eines anderen zu verbinden vermag und welches Quantum mit ſeinem Sättigungsvermögen im verkehrten Verhältniſſe ſteht, da man offenbar einem Körper ein deſto größeres Vermögen, andere zu ſättigen, zuſchreiben muß, eine je geringere Menge man von ihm dazu braucht. Die Zahl, welche obiges Quantum bezeichnet, heißt ſtöchiometriſche Zahl. Dieſe Zahl wird nur dann für denſelben Stoff ſtets dieſelbe ſeyn, wenn man von dem Körper, den er ſättigen ſoll, ſtets dieſelbe, übrigens beliebige Quantität annimmt, d. h. ſeine ſtöchiometriſche Zahl beliebig ein für allemal feſtſetzt. Der Körper, den man zu dieſem Behufe wählt, iſt nach der wohlbegründeten Übereinkunft der meiſten Chemiker der Sauerſtoff, und ſeine ſtöchiometriſche Zahl wird gleich 10, 100, 1000 angenommen. Die Zahlen, welche anderen Körpern zukommen, zeigen dann die Mengen an, in denen ſie ſich mit Sauerſtoff oder unter ſich verbinden. Heißt es daher, die ſtöchiometriſche Zahl des Schwefels ſey = 201, die des Eiſens 339, ſo will dieſes ſagen: Es verbinden ſich in der erſten Stufe 201 Th. Schwefel oder 339 Th. Eiſen mit 100 Th. Sauerſtoff oder 201 Th. Schwefel mit 339 Th. Eiſen. Zuſammengeſetzte Körper bekommen die ſtöchiometriſche Zahl, welche ſich aus den ſtöchiometriſchen Zahlen ihrer Beſtandtheile ergibt. So iſt die ſtöchiometriſche Zahl des Waſſers, das aus 1 Verhältniß Sauerſtoff und 2 V. Waſſerſtoff beſteht, = 112.4, weil dem Sauerſtoffe die Zahl 100, dem Waſſerſtoffe die Zahl 6.2 zukommt und 12.4 + 100 gleich 112.4 iſt. Die ſtöchiometriſche Zahl der Schwefelſäure, die aus 1 V. Schwefel (= 201) und 3 V. Sauerſtoff (= 300) beſteht, iſt = 501.

47. Da die Verhältniſſe, unter denen ſich die Körper verbinden, dieſelben bleiben, ihre abſoluten Maſſen mögen wie immer klein ſeyn, ſo kann man wohl annehmen, daß ſich ſelbſt noch ihre Atome nach denſelben Verhältniſſen verbinden. Iſt dieſes richtig, ſo kann man auch annehmen, es trete bei der erſten Verbindungsſtufe 1 Atom des einen Stoffes mit 1 Atom des anderen, bei höheren 1 At. des einen mit 2, 3 ꝛc. At. des anderen in Verbindung u. ſ. f.; da müſſen dann die ſtöchiometriſchen Zahlen die relativen Gewichte ihrer Atome ausdrücken, darum nennt man ſie auch Atomengewichte. Zuſammengeſetzte Körper bekommen nach dieſer Anſicht auch zuſammengeſetzte Atome. Ob ſich wirklich bei chemiſchen Verbindungen die Atome der Stoffe ſo neben einander ſtellen, wie dieſe Vorſtellungsweiſe fordert, oder ob ein wirkliches Durchdringen derſelben Statt finde, iſt wohl nicht bewieſen, doch hat erſteres viel an Wahrſcheinlichkeit gewonnen, ſeit man Körper kennt, die ſich in ihren Eigenſchaften und chemiſchen Verhalten weſentlich von einander unterſcheiden und doch in qualitativer und quantitativer Hinſicht gleich zuſammengeſetzt (iſomeriſch) ſind, wie z. B. mehrere Verbindungen von Kohlen- und Waſſerſtoff, die Knallſäure und cyanige Säure ꝛc.

48. Die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Körper, durch die man allein ihre innere Verſchiedenheit erkennen lernt, fordert außer den mannigfaltigen Verwandtſchaftsgraden auch noch mancherlei Geräthe und Werkzeuge, deren Inbegriff den chemiſchen Hausrath ausmacht. Zu dieſen gehören die Öfen, in denen Kohlenfeuer, nicht ſelten auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen) oder durch künſtlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläſeöfen) unterhalten wird, die nicht ſelten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) verſehen ſind und in welchen die Körper, welche man der Hitze ausſetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwiſchen die Kohlen oder oberhalb derſelben in ein eigenes Gefäß (Capelle) geſtellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper oder das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Waſſer (Waſſer- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig ſind Gefäße von allerlei Formen und aus verſchiedenem Materiale, wie z. B. gläſerne, thönerne, porcellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorſtöße, Woulfeſche Flaſchen im einzelnen oder zu einem Woulfeſchen Apparate

verbunden, Abrauchſchalen, Filtrirgefäße nebſt paſſenden Filtrirtrichtern, Gasentbindungsflaſchen, eine pneumatiſche Waſſer- und Queckſilberwanne mit den nöthigen Recipienten ꝛc. Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, ſo braucht man doch nicht ſo viele Apparate. Insbeſondere bedient man ſich heut zu Tage bei chemiſchen Arbeiten faſt durchgehends kleinerer Körpermengen, als es früher gebräuchlich war.

49. Die ungleichartigen Stoffe, welche man bei der Zerlegung eines Körpers erhält und aus denen er zunächſt beſteht, nennt man ſeine **nächſten Beſtandtheile**. Dieſe ſind oft ſelbſt wieder zuſammengeſetzt und enthalten daher Theile, die entfernte Beſtandtheile jenes Körpers genannt werden. So z. B. beſteht der Salpeter aus Kali und Salpeterſäure als ſeinen nächſten Beſtandtheilen, aber ſowohl das Kali als die Salpeterſäure ſind ſelbſt wieder zuſammengeſetzter Natur und ihre nächſten Beſtandtheile ſind die entfernteren des Salpeters. Es iſt klar, daß man beim Fortſchreiten von den näheren zu den entfernteren Beſtandtheilen endlich auf ſolche Körper kommen muß, die nicht mehr weiter aus chemiſch heterogenen Theilen beſtehen und deshalb chemiſch **einfache** oder **Elemente** genannt werden müſſen. Wiewohl an der Exiſtenz chemiſcher Elemente nicht zu zweifeln iſt, ſo iſt es doch unmöglich, mit vollkommener Sicherheit von einem Stoffe zu erweiſen, es ſey ein Element, denn wenn er auch allen bekannten Zerſetzungsmitteln widerſteht, ſo kann es doch ſeyn, daß er von einem unbekannten, kräftigeren bezwungen werden könnte und daher uns als Element erſcheint, ohne es doch zu ſeyn; ja man hat in der That ſchon oft erfahren, daß einzelne Stoffe, die man für einfach hielt, durch ſpäter entdeckte Mittel zerlegt wurden. Darum bezeichnet man die Stoffe, welche man durch die jetzt bekannten Mittel nicht weiter zerlegen kann, mit dem Namen **Grundſtoffe**, und ſelbſt wenn man ſie Elemente nennt, ſo unterlegt man dieſem Worte einen beſonderen Sinn und verſteht darunter nicht abſolut unzerlegbare, ſondern bis jetzt unzerlegte Stoffe. Solche gibt es gegenwärtig 54. Sie folgen hier mit ihren in der Folge zu erklärenden Zeichen und ihren ſtöchiometriſchen Zahlen in einer ſolchen Ordnung, daß zwiſchen je zweien derſelben eine deſto größere chemiſche Differenz herrſcht, je weiter ſie von einander abſtehen. Bei der chemiſchen Verbindung zweier ſolcher Körper ſpielt der in dieſer Reihe vorgehende ſtets eine Rolle, die jener des nachfolgenden

entgegengeſetzt iſt und darum ſo wie auch aus Gründen, die erſt in der Electricitätslehre klar werden können, heißt jeder vorausgehende **negativ**, jeder der nachfolgenden **poſitiv**.

Sauerſtoff (*Oxygenium*)	*O*	=	100
Chlor	*Cl*		221.3
Brom	*Br*	=	489.1
Jod	*J*	=	789.1
Schwefel (*Sulphur*)	*S*	=	201.1
Stickſtoff (*Nitrogenium*)	*N*	=	88.5
Fluor	*F*	=	116.9
Phosphor	*P*	=	196.1
Selen	*Se*	=	494.6
Arſenik	*As*	=	470.0
Molybdän	*Mo*	=	598.5
Vanadin	*V*	=	855.8
Chrom	*Cr*	=	351.8
Wolfram	*W*	=	1183.2
Bor	*B*	=	136.0
Kohle	*C*	=	76.4
Antimon (*Stibium*)	*St*	=	806.4
Tellur	*Te*	=	806.4
Tantal	*Ta*	=	1153.7
Titan	*Ti*	=	303.7
Kieſel (*Silicium*)	*Si*	=	277.5
Waſſerſtoff (*Hydrogenium*)	*H*	=	6.2
Gold (*Aurum*)	*Au*	=	1243.0
Platin	*Pt*	=	1233.3
Rhodium	*R*	=	651.4
Palladium	*Pd*	=	665.8
Iridium	*Ir*	=	123.33
Osmium	*Os*	=	1244.2
Silber (*Argentum*)	*Ag*	=	1351.6
Queckſilber (*Hydrargirum*)	*Hg*	=	1265.8
Kupfer	*Cu*	=	395.7
Uran	*U*	=	2711.4
Wismuth (*Bismuthum*)	*Bi*	=	1330.4
Zinn (*Stannum*)	*Sn*	=	735.3
Blei (*Plumbum*)	*Pb*	=	1294.5
Cadmium	*Cd*	=	696.8
Zink	*Zn*	=	403.2
Nickel	*Ni*	=	396.7
Kobalt	*Co*	=	369.0
Eiſen (*Ferrum*)	*Fe*	=	339.2
Mangan	*Mn*	=	345.9
Cer	*Ce*	=	574.7
Thorium	*Th*	=	744.9
Zircon	*Zr*	=	420.2
Yttrium	*Y*	=	401.8
Beryllium	*Be*	=	331.5
Alluminium	*Al*	=	171.2
Magneſium	*Mg*	=	158.3
Calcium	*Ca*	=	256.0
Strontium	*Sr*	=	547.3
Barium	*Ba*	=	856.9
Lithium	*L*	=	81.3
Natrium	*Na*	=	290.9
Kalium	*K*	=	489.9

50. Den **Sauerſtoff** kennt man im freien Zuſtande nur als Gas. Man erhält das Sauerſtoffgas durch Zerſetzung mehrerer ſauerſtoffhaltiger Körper, wie z. B. des ſchwarzen Braunſteines, des rothen Queckſilberoxydes, des chlorigſauren Kali's mittelſt Hitze. Das Sauerſtoffgas hat keinen Geſchmack, keinen Geruch

und iſt nicht ſichtbar, es wird vom Waſſer ohne beſonderes Verbindungsmittel nur in ſehr geringer Menge aufgenommen, durch ein ſolches Mittel iſt es eben Thénard gelungen, Waſſer mit dem 475fachen Volumen Sauerſtoffgas zu verbinden; es unterhält das Athmen und Brennen viel beſſer als atmoſphäriſche Luft, ſo zwar daß ein Thier in einer Portion Sauerſtoffgas 5 — 6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atmoſphäriſcher Luft, und daß Körper, die in der atmoſphäriſchen Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerſtoffgaſe mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieſes Gas auch Lebensluft oder Feuerluft. Der Sauerſtoff verbindet ſich faſt mit allen Körpern, beſonders den chemiſch einfachen, und erzeugt mit ihnen Oxyde im weiteſten Sinne des Wortes. Den Act der Bildung dieſer Verbindung nennt man die Oxydation. Gibt es von demſelben Stoffe mehrere Oxyde, ſo heißt die erſte Verbindungsſtufe Protoxyd, die zweite Deutoxyd ꝛc., die höchſte Peroxyd. Manchmal wird ein Oxyd auch Oxydul oder Suboxyd, ein anderes Hyperoxyd genannt, wovon in der Folge mehr. Man braucht das Sauerſtoffgas zu Reſpirationsapparaten, zur Belebung erſtickter Scheintodten, zum Verbrennen ſchwerbrennbarer Stoffe ꝛc. Es hat ſeinen Namen daher, daß es in gewiſſen Fällen ſauer ſchmeckende Subſtanzen bildet.

51. Auch freien Waſſerſtoff kennt man nur im gasförmigen Zuſtande; er wird durch Zerſetzung des Waſſers erhalten, und zwar am leichteſten, indem man dasſelbe mit Schwefelſäure verſetzt und verkleinertes Zink oder Eiſen zugibt, oder indem man Waſſerdämpfe durch ein glühendes eiſernes Rohr leitet. In beiden Fällen wird dem Waſſer der Sauerſtoff entriſſen und der Waſſerſtoff wird frei. Das Waſſerſtoffgas iſt im reinen Zuſtande farb-, geruch- und geſchmacklos, mit fremdartigen (öhligen) Theilen vermiſcht, wie man es bei der Zerſetzung des Waſſers durch Eiſen oder Zink mit Schwefelſäure erhält, hat es einen knoblauchartigen Geruch, von dem man es aber befreien kann, wenn man es durch Weingeiſt leitet. Es iſt die leichteſte aller Gasarten, wird vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgenommen, iſt weder zum Athmen noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet, brennt aber in Berührung mit Sauerſtoffgas ſelbſt. Miſcht man 2 Volumina Waſſerſtoffgas mit einem Volumen Sauerſtoffgas und zündet das Gemenge an, ſo verbrennt es mit einem heftigen Knall und iſt im Stande dabei ſelbſt ſtarke Gefäße zu

zerreißen. Man kann das Waſſerſtoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Illuminationen und zu Zündmaſchinen ꝛc. benützen.

52. Wenn man das beim langſamen Verbrennen eines Gemiſches von Sauerſtoffgas und Waſſerſtoffgas erzeugte Product unterſucht, ſo überzeugt man ſich, daß es reines Waſſer ſey, welches dasſelbe Gewicht hat, wie die beim Verbrennen verzehrten Gasarten. Es beſteht daher das Waſſer aus Sauerſtoff und Waſſerſtoff. Das reine Waſſer iſt geſchmack-, geruchlos und höchſt durchſichtig; es hat in kleinen Maſſen keine merkliche Farbe, in größeren iſt ſeine Farbe bläulich grün. Wiewohl es in allen drei Naturreichen vorkommt und einer der verbreitetſten Körper dieſer Erde iſt, ſo trifft man es doch nur in den Eishöhlungen der Gletſcher rein an, wo es mit keinem anderen Körper als mit Eis in Berührung kommt, auch nicht von der darüber befindlichen Luft organiſche Stoffe einſaugen kann, und ſieht ſich daher meiſtens gezwungen, es durch Deſtillation zu reinigen. Vermög ſeiner vielſeitigen Verwandtſchaft nimmt es Körper von verſchiedener Art auf, meiſtens aber Salze und Luftarten; durch erſtere bekommt es einen eigenthümlichen Geſchmack und wird zu manchem techniſchen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Waſſer. Viele Stoffe nimmt es mechaniſch mit ſich fort, ſetzt ſie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Waſſer, das organiſche Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geſchmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil dieſe Stoffe durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieſes abzuwarten kann man es reinigen, indem man es durch abwechſelnde Schichten von Kohle und Sand leitet. Selbſt das reinſte Waſſer verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organiſche Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder ſalpeterſaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit ſchützen. Die Verbindungen mit Waſſer heißt man Hydrate. (Davy in Zeitſch. 5. 238.)

53. Den Stickſtoff kennt man ſo wie den Sauerſtoff und Waſſerſtoff nur als Gas. Man erhält das Stickgas am leichteſten, wenn man durch irgend ein dem Sauerſtoff ſtark verwandtes Mittel der atmoſphäriſchen Luft den Sauerſtoff entreißt. Gibt man z. B. in eine, atmoſphäriſche Luft enthaltende Glasglocke ein Stück Phosphor und ſperrt ſie dann mit Waſſer oder Queckſilber, ſo vermindert ſich die Luft zuſehends, der Phos-

phor oxydirt ſich, und zuletzt bleibt, wenn man genug Phosphor genommen hat, nur Stickgas zurück. Man kann dieſes Gas auch erhalten, wenn man ein Gemenge von 2 Th. Salpeter und 1 Th. Salmiak erhitzt und das frei werdende Gas durch eine Ätzkalilöſung leitet, worauf reines Stickgas übrig bleibt. Dieſes Gas hat faſt nur negative Eigenſchaften, es hat keine Farbe, keinen Geſchmack, keinen Geruch, wird vom Waſſer faſt gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen. Sein einziges poſitives Merkmal iſt, daß es mit Sauerſtoffgas in gehörigem Verhältniſſe gemiſcht, mittelſt Electricität, Salpeterſäure liefert. Stickſtoff verbindet ſich in vier Verhältniſſen mit Sauerſtoff, in einem Verhältniſſe mit Waſſerſtoff, und liefert mit Sauerſtoff gemengt die atmoſphäriſche Luft.

54. Mengt man 21 Theile Sauerſtoffgas mit 79 Th. Stickgas, ſo erhält man Luft, wie ſie in der Atmoſphäre in ihrem reinſten Zuſtande vorhanden iſt. Daß die atmoſphäriſche Luft wirklich aus Sauerſtoffgas und Stickgas beſtehe, kann man durch Verſuche beweiſen. Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit atmoſphäriſcher Luft gefüllte Glocke, ſo ſtirbt das Thier und es verliſcht die Kerze nach einiger Zeit und zwar, nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt iſt. Unterſucht man den Reſt derſelben, nachdem man ſie vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entſtandenen fremdartigen Beimiſchung durch eine Auflöſung von Ätzkali geleitet hat, ſo findet man ihn aus lauter Stickgas beſtehend. Es enthält demnach die atmoſphäriſche Luft Stickgas und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil. Gibt man eine genau abgewogene Quantität Queckſilber in eine Retorte, die mit einem, atmoſphäriſche Luft enthaltenden, durch Waſſer geſperrten Recipienten in Verbindung ſteht, erhitzt das Queckſilber und erhält es einige Zeit bei einer ſeiner Siedhitze nahe kommenden Temperatur; ſo bemerkt man, daß ſich die Luft im Recipienten vermindert und daß zugleich das Queckſilber in eine rothe, erdige Maſſe übergeht. Zerlegt man den Apparat, wenn das Queckſilber keine weitere Veränderung mehr erleidet und unterſucht ſowohl die Luft als das vom Queckſilber entſtandene Product; ſo findet man letzteres ſchwerer als das Queckſilber, die Luft hingegen leichter und es fehlt der Luft gerade ſo viel, als dem Queckſilber zugewachſen iſt. Hat man nicht zu wenig Queckſilber

angewendet, ſo characteriſirt ſich die übrig gebliebene Luft als Stickgas. Gibt man die rothe Maſſe neuerdings in die Retorte, bringt ſie aber mit einem mit Waſſer gefüllten Recipienten in Verbindung und erhitzt ſie hierauf ſtark genug; ſo entwickelt ſich ein Gas, ſammelt ſich im Recipienten, und die rothe Maſſe verwandelt ſich in Queckſilber. Dieſes wiegt nach der Operation weniger als die Maſſe, woraus es gewonnen wurde, und zwar gerade um ſo viel, als das entwickelte Gas wiegt; letzteres iſt alſo aus jener Maſſe entſtanden und es hat alle Eigenſchaften des Sauerſtoffgaſes. Hätte man dieſes Gas zu dem beim vorigen Verſuche übrig gebliebenen Stickgaſe geleitet, ſo hätte man die atmoſphäriſche Luft wieder erhalten, die man urſprünglich zum Verſuche gebraucht hat.

55. Das in der atmoſphäriſchen Luft vorhandene Verhältniß zwiſchen Sauerſtoffgas und Stickgas wird durch beſondere Verſuche ausgemittelt. Bei dieſen bedient man ſich eines eigenen Inſtrumentes, das Eudiometer heißt und aus einem Gefäße beſteht, worin man eine gemeſſene Menge Luft mit einer Subſtanz in Berührung bringt, die ihr den Sauerſtoff entzieht, und aus einem anderen, worin man den Überreſt der Luft mißt. Hierzu dienliche (eudiometriſche) Subſtanzen ſind Stickſtoffoxyd, Phosphor, Schwefelleber, vorzüglich aber Waſſerſtoffgas. Das Waſſerſtoffgaseudiometer hat zuerſt Volta angegeben, Gay Luſſac hat es etwas abgeändert (Gilberts An. 56. 195.), Döbereiner aber weſentlich verbeſſert. (Döbereiner's neuentdeckte höchſt merkwürdige Eigenſchaften des Platin's. Jena 1823; desſelben Beyträge zur phyſ. Chemie. Heft 2. S. 52.) Volta's Eudiometer iſt eine etwa 12 Zoll lange, $1\frac{1}{2}$ Zoll weite ſtarke Glasröhre (Verpuffungsröhre) *A* (Fig. 6), die oben und unten mit einer meſſingenen Faſſung verſehen iſt. Die untere Faſſung bildet einen Trichter zur leichteren Einfüllung des Gaſes, aber zugleich auch das Fußgeſtell, und hat einen Hahn zum Sperren der Röhre; die obere Faſſung iſt auch mittelſt eines Hahnes verſchließbar und erweitert ſich zu einer kleinen tiefen Schüſſel, zugleich iſt am oberen Theile ein eigener Draht angebracht, um einen electriſchen Funken durch den Inhalt der Röhre leiten zu können. Der zweite Beſtandtheil dieſes Inſtrumentes iſt eine etwa 6 L. weite, an einem Ende verſchloſſene, am anderen offene Röhre *B* (Meßröhre), die ſich mit der Mündung oben auf der Verpuffungsröhre anbringen läßt und mit einer

Scale verſehen iſt, welche gleiche Theile ihres inneren Rauminhaltes angibt. Der dritte Theil endlich iſt ein Maß *C* aus einer Glasröhre, mit einer meſſingenen, ſich trichterförmig erweiternden Öffnung und einem Schieber zum luftdichten Verſchließen derſelben. Es ſoll genau ſo viel faſſen, wie 100 Theile der Meßröhre. Beim Gebrauche füllt man ſowohl die Verpuffungs- als die Meßröhre mit Waſſer, ſteckt beide zuſammen, leitet mittelſt des Maßes 2 Theile atmoſphäriſche Luft und 1 Theil Waſſerſtoffgas hinein und zündet das Gemenge mittelſt eines electriſchen Funkens an, wobei eine Verminderung der Luftmaſſe eintritt. Läßt man den Reſt in die Meßröhre ſteigen, mißt mit den nöthigen Vorſichten ſein Volumen, entnimmt daraus die beim Entzünden Statt gefundene Verminderung; ſo gibt $\frac{1}{6}$ derſelben die in einem Maße atmoſphäriſcher Luft vorhandene Sauerſtoffmenge an. In Döbereiners Eudiometer wird die Verbindung der Gaſe nicht durch einen electriſchen Funken, ſondern mittelſt Platinſchwamm, und zwar langſam und ohne Exploſion bewirkt. Es beſteht darum auch nur aus einer einfachen, mit einer Volumenſcala verſehenen Glasröhre. In dieſe wird eine beſtimmte Menge atmoſphäriſche Luft und Waſſerſtoffgas nebſt einem Kügelchen Platinſchwamm gebracht und ſo lange abgewartet, bis keine Gasverminderung mehr bemerklich iſt. Es iſt gut, ſtatt Kügelchen aus reinem Platinſchwamm ſolche zu wählen, die mit Thon verſetzt ſind. (Scherer's Geſchichte der Luftgütemeſſung. Wien 1785. Kämtz's Lehrbuch der Meteorologie. B. I. S. 14. Halle 1831.)

56. Eudiometriſche Verſuche haben gelehrt, daß in 100 Th. atmoſphäriſcher Luft 21 Th. Sauerſtoffgas und 79 Th. Stickgas enthalten ſeyen, man mag die Luft zu was immer für einer Jahres- oder Tageszeit am feſten Lande oder am Meere, nahe am Boden oder in großen Höhen, im Freien oder an Orten, die von Menſchen längere Zeit gedrängt voll waren, genommen haben. Die fremdartigen Beimiſchungen, welche wir oft durch den Geruch erkennen oder die auf unſere Geſundheit ſchädlich einwirken, laſſen ſich nicht nachweiſen, wiewohl an ihrem Daſeyn nicht zu zweifeln iſt.

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Mart die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verſchiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kaſan, Davy die Luft in England und Guinea, Gay-Luſſac

die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, *Vogel* die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geſchöpfte, *Hermbſtädt* die an der Oſtſee, *Configliachi* die über bewäſſerten Reisfeldern, *Séguin* die Luft in einem vollen Theater, Ed. *Davy* in einem Hoſpital, allein überall fand man ſie von gleichem Gehalte an Sauerſtoff und Stickſtoff.

57. *Chlor* läßt ſich als Gas, ferner als tropfbare Flüſſigkeit, endlich als feſtes und tropfbares Hydrat darſtellen. Übergießt man ein Gemenge von ſchwarzem Braunſtein und Kochſalz mit ſchwacher Schwefelſäure und ſetzt das Ganze einer geringen Hitze aus, ſo erhält man *Chlorgas*. Dieſes hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, iſt zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, ſondern höchſt ſchädlich und verurſacht Huſten, Schnupfen, Bruſtbeklemmung, ja ſogar den Tod, brennt nicht, geſtattet aber anderen Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Phosphor mäßig erwärmtes Gold, Wismuth entzünden ſich darin von ſelbſt; es zerſtört alle organiſchen Körper, mit Ausnahme der Kohle, entfärbt ſie aber anfangs, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei anſteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch ſtarke Compreſſion wird es tropfbar dargeſtellt und da bildet es eine ſehr bewegliche, dunkel grünlich gelbe Flüſſigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Waſſer, ſo wird es von demſelben abſorbirt und das Waſſer bekommt dann alle Eigenſchaften des Gaſes, iſt alſo flüſſiges Chlorhydrat; es iſt grünlich gelb, riecht nach dem Gaſe, läßt dieſes auch beim Erwärmen entweichen und wird durch das Licht zerſetzt; läßt man vom Waſſer viel Chlorgas abſorbiren, ſo ſetzen ſich darin gelbliche Kryſtalle ab, die feſtes Chlorhydrat ſind. Sie ſind ſehr flüchtig und laſſen ſich ſublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Waſſer zerſetzt.

Es gibt mehrere Verbindungen des Chlors mit Sauerſtoff, wovon einige ſauer ſind, eine Verbindung mit Stickſtoff, die wegen ihrer ungemeinen Exploſionsfähigkeit berühmt iſt, und eine Verbindung mit Waſſerſtoff. Die Chlorverbindungen, mit Ausnahme der mit Sauerſtoff, heißen *Chloride*.

Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel iſt ſehr wichtig. Man braucht heut zu Tage ſelten mehr dazu das Gas oder das Chlorwaſſer, ſondern meiſtens Chlorkalk, Chlorkali oder

Chlornatrum. Zum Behufe der Luftreinigung wird ein ſolcher Körper in einer flachen Schale mit Waſſer übergoſſen und in der Luft ſtehen gelaſſen; zur Reinigung von Kleidern, Betten werden dieſelben mit einer ſolchen Flüſſigkeit gewaſchen; Briefe werden durchſtochen und mit Chlorgas geräuchert.

58. Das **Brom** wurde im Jahre 1826 von **Balard** zuerſt im Waſſer aus dem mittelländiſchen Meere, nachdem das Kochſalz herauskryſtalliſirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Waſſer des todten Meeres und aus vielen Salzſoolen und Mineralquellen ausgeſchieden. Es erſcheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüſſigkeit von äußerſt unangenehmen Geruche (daher ſein Name von *βρωμος* Geſtank), verdünſtet ſtark in der Luft, ſiedet ſchon bei 47° und friert erſt bei — 18°, wo es dann als bleigraue metallglänzende Maſſe erſcheint, iſt im Waſſer, Alkohol und Äther, wohl auch im Baumöhl löslich, ſinkt aber in der Schwefelſäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor. Es verbindet ſich mit Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Chlor ꝛc. und zwar mit einigen in mehreren Verhältniſſen. Seine Verbindungen mit poſitiven Körpern heißen **Bromide**.

59. Das **Jod** (von *ιοειδης* Veilchenblau) wurde zuerſt 1812 von **Courtois** in der Mutterlauge des Seetanges, ſpäter aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfſchwamm, ſelbſt in Mineralien und in Quellen (Hall in Oberöſterreich) gefunden. Es iſt eine feſte, dunkelgraue, faſt wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Subſtanz, welche die Haut ſchmutzig gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geſchmack hat, ſtark auf den Organismus wirkt, ſich ſchwer im Waſſer, aber leicht im Weingeiſte auflöſet. Durch Wärme läßt es ſich in ein ſchön violettes Gas verwandeln. Jod verbindet ſich mit Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Chlor, Brom ꝛc. Seine Verbindungen mit poſitiven Körpern heißen **Jodide**.

60. Der **Schwefel** iſt ein blaßgelber, undurchſichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, ſchwach ſchmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erſtickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verſchloſſenen Gefäßen langſam bis 70° erhitzt, ſo ſteigt er ohne Veränderung ſeiner chemiſchen Natur in Dampfform in die Höhe, legt ſich an kältere Körper an und bildet die ſogenannten Schwefelblumen. Bei noch höherer Temperatur wird er weich, ſchmilzt endlich (bei 110° *C*)

und wird braun und durchſcheinend, erlangt aber beim Feſtwerden oft ſeine Farbe und Undurchſichtigkeit wieder. Erhitzt man ihn über den Schmelzpunct, ſo verwandelt er ſich in eine zähe braune Maſſe, die, wenn ſie in kaltes Waſſer gegoſſen wird, lange weich bleibt und nur allmälig wieder erhärtet. Man bedient ſich dieſer Maſſe zu Schwefelabgüſſen. Der Schwefel iſt im Waſſer gar nicht, im Weingeiſt nur wenig auflöslich, mittelſt Wärme bildet er mit Öhlen die ſogenannten Schwefelbalſame. Er kommt in der Natur gediegen, ſelbſt kryſtalliſirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in vielen organiſchen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle. Der Schwefel geht faſt mit allen vorausgehenden und nachfolgenden Grundſtoffen Verbindungen ein. Man nennt die mit poſitiven Körpern Sulphuride.

61. Das Selen findet man in Verbindung mit Schwefel, der aus Kieſen ausgeſchieden iſt. Wird dieſer zum Behuf der Schwefelſäurebildung verbrannt, ſo färbt das Selen den ſich abſetzenden Schlamm roth und kann daraus erhalten werden, wo es dann aus ſpröden, ſchwer kryſtalliſirbaren, bei 100° weich werdenden, bei höherer Temperatur ſchmelzenden, aber auch noch nach dem Erkalten weichen und in Fäden ziehbaren Körpern erſcheint. Man kennt ſehr viele Selenverbindungen.

62. Der Phosphor iſt ein wachsgelber, bei niederer Temperatur ſpröder, bei etwas hoher biegſamer Körper. Er leuchtet im Dunkeln, ſchmilzt und entzündet ſich ſehr leicht, darum er beſtändig unter Waſſer aufbewahrt werden muß; er löſet ſich im Weingeiſte ſchwer, in ätheriſchen Öhlen leicht auf und gibt dann eine nicht ſo leicht brennbare aber doch leuchtende Maſſe, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet ſich in allen drei Naturreichen, beſonders aber in thieriſchen Knochen, aus denen er auch meiſtens gewonnen wird.

Der Phosphor geht mehrere Verbindungen mit Sauerſtoff und andere, für den Phyſiker wichtige, mit Waſſerſtoff ein. Zwei der letzteren erhält man in Gasform, wenn man Phosphor in Ätzlauge kocht und zwar eine Anfangs, die andere am Ende der Operation. Erſtere riecht nach faulen Fiſchen und entzündet ſich ſchon bei der gewöhnlichen Temperatur in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft, letztere leuchtet nur unter denſelben Umſtänden, brennt aber nicht und verpufft ungemein heftig, wenn man ſie mit Sauerſtoff oder Chlorgas miſcht und dann bis 120° R. erhitzt. (Roſe in Pogg. Ann. 6. 199, ebendaſelbſt 16. 363. Dumas in Schweigg. J. 46. 459 u. 47. 12.)

63. **Fluor** iſt ein Stoff, der bisher nur von **Davy** in ſehr geringer Menge für ſich dargeſtellt wurde. Er erſcheint als braune Subſtanz und iſt der einzige Körper, von dem man keine Sauerſtoffverbindung mit völliger Beſtimmtheit kennt. Die Fluorverbindungen mit poſitiven Stoffen heißen **Fluoride**.

64. **Bor** wird durch Zerſetzung der Borſäure mittelſt Kalium erhalten und ſtellt ein undurchſichtiges, dunkelgrünes, ſtark abfärbendes, geruch- und geſchmackloſes, im Waſſer nur wenig lösliches Pulver vor, das in der Luft bei der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkenſprühen verbrennt. Es verbindet ſich faſt mit allen früher betrachteten Grundſtoffen.

65. **Kieſel** wird erhalten, wenn man kieſelflußſaures Natrum mit Kalium mengt, dann glüht, den Rückſtand in kaltes Waſſer gibt und den ungelöſeten Reſt langſam bis zum Glühen erhitzt und endlich mit ſtarker Flußſäure behandelt. Das Kieſel hat viel Ähnlichkeit mit Bor und verhält ſich zu ihm wie Selen zu Schwefel oder wie Chlor zu Jod; es bleibt im Sauerſtoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden iſt, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunſt; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern, aber mit kohlenſaurem Kali vermengt und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungeu ein, worunter die merkwürdigſte die Kieſelſäure iſt, die man einſt unter die Erden zählte und Kieſelerde nannte.

66. **Kohle** iſt ein brennbarer, geſchmack- und geruchloſer, unſchmelzbarer Stoff, der ſich weder im Waſſer noch im Weingeiſte oder in Öhlen auflöſet und ſelbſt den ſtärkſten Säuren widerſteht; er iſt brennbar, kommt am reinſten als Diamant vor, in der Pflanzen- und Thierkohle iſt er mit mehreren anderen Körpern, beſonders in jener mit Waſſerſtoff, in dieſer mit Stickſtoff verbunden, er iſt ein Beſtandtheil aller organiſchen Körper, kommt aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende ꝛc. reichlich vor. Nach **Colquhoun** ſetzt er ſich bei der Stahlbereitung Macintoſh's aus ſeiner Verbindung mit Waſſerſtoff in Geſtalt feiner, metalliſch glänzender Haare ab.

Die Kohle geht ſehr viele Verbindungen mit allen Grundſtoffen ein. Mit Waſſerſtoff liefert ſie die beiden Arten Kohlenwaſſerſtoffgas. Das Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Minimum von Kohlenſtoff entwickelt ſich in Sümpfen, daher es auch Sumpfgas heißt, in Kohlenbergwerken, kann aber auch künſtlich erzeugt werden, wenn man Waſſerdämpfe durch ein glühendes mit Kohlenpulver gefülltes eiſernes Rohr leitet. Es iſt nicht reſpirabel, riecht ſehr unangenehm, läßt ſich anzünden und brennt mit einer ſehr ſchwachen blauen Flamme, die nicht ſtark leuchtet, detonirt aber mit Sauerſtoffgas gemiſcht und dann angezündet, ſehr heftig. Das Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Maximum an Kohlenſtoff wird durch Deſtillation organiſcher Subſtanzen, vorzüglich Öhl, Steinkohlen ꝛc., beſſer aber durch Erhitzen einer Miſchung von 1 Th. Alkohol mit 4 Th. ſtarker Schwefelſäure erhalten. Es iſt farblos, von widrigem Geruche, brennbar und zwar brennt es mit ſehr heller, lebhafter Flamme, verpufft, mit Sauerſtoffgas erhitzt, ſehr gewaltig und liefert mit Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas nennt.

Kohlenſtoff verbindet ſich mit Waſſerſtoff noch in mehreren anderen Verhältniſſen, ja ſelbſt in denſelben Verhältniſſen liefern dieſe Stoffe Körper von verſchiedenen Eigenſchaften, eine Merkwürdigkeit, die ſich jetzt ſchon häufiger auch bei anderen Stoffen vorfindet. (Faraday in Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 und 324.)

67. Die Metalle unterſcheiden ſich von anderen Grundſtoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Geſchmack- und Geruchloſigkeit, Undurchſichtigkeit und Unauflöslichkeit im Waſſer. Sie heißen im reinen Zuſtande Metallkönige oder reguliniſche Metalle. Wenige derſelben kommen in der Natur in dieſem Zuſtande vor, die meiſten finden ſich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt in Verbindung mit anderen Metallen oder oxydirt. Mehrere Metalle ſind hämmerbar und ſtreckbar, ſie laſſen ſich zu Platten walzen, zu Draht ziehen ꝛc., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Kupfer; andere ſind ſpröde wie Spießglanz, Wismuth, deshalb theilte man ſie einſt in ganze (ſtreckbare) und in Halbmetalle ein, ohne zu bedenken, daß ſich zwiſchen beiden keine feſte Grenze angeben läßt und daß dasſelbe Metall durch blos mechaniſche Behandlung dehnbar oder ſpröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die andere Klaſſe gehören müßte. Alle Metalle ſind ſchmelzbar, jedoch iſt der Hitzegrad, bei dem ſie ſchmelzen, bei jedem anders. So iſt das Queckſilber ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüſſig, Kalium und Natrium ſind bei derſelben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth ſchmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das ſtärkſte Feuer Eiſen, Uran, Titan, Platin zu ſchmelzen

vermag. Kalium, Natrium, Eiſen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geſchweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige werden noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden. Queckſilber, Zink, Arſenik verflüchtigen ſich leicht, Gold, Platin erſt bei der größten Hitze. Beim Erkalten kryſtalliſiren alle Metalle unter günſtigen Umſtänden. Bei den ſpröden läßt ſich das Kryſtallgefüge am leichteſten erkennen. Die meiſten Metalle laſſen ſich mit einander verbinden und geben Gemiſche, die man Legirungen, oder wenn Queckſilber einen Beſtandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Dieſe Gemiſche ſind meiſtens härter, elaſtiſcher und minder dehnbar, als die Beſtandmetalle, wie man es am Meſſing, Glockengut ꝛc. ſieht; ſie ſind leichter ſchmelzbar, bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe und kryſtalliſiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen ſchon zuſammen, wenn nur eines davon flüſſig iſt. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Verſilbern ꝛc. — Die Metalle verbinden ſich mit Sauerſtoff, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Selen, Kieſel, Fluor, Bor und Kohle. Durch Sauerſtoff verlieren ſie ihren Metallglanz, ihre Conſiſtenz und werden nicht ſelten im Waſſer auflöslich. Einige oxydiren ſich ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme und entreißen den Sauerſtoff ſogar dem Waſſer, wie z. B. Kalium; andere aber müſſen erhitzt werden, um den Sauerſtoff aufzunehmen, wie z. B. Queckſilber, andere nehmen ihn aber ſelbſt in der größten Hitze nicht auf und können daher nur durch Sauerſtoffſäuren oxydirt werden, wie Gold, Platin. Hierauf beruht die alte Eintheilung der Metalle in edle und unedle. Einige Metalle oxydiren ſich durch und durch, wie Eiſen, andere überziehen ſich nur an der Oberfläche mit Oxyd, werden aber im Innern durch die äußere Rinde vor der ferneren Oxydation geſchützt, wie Kupfer, Bronze.

68. Aus dieſen Grundſtoffen beſtehen alle Körper, ſowohl die organiſchen als die unorganiſchen. Verbindungen aus zwei ſolchen Stoffen nennt man binäre, aus dreien ternäre ꝛc. Faſt alle Pflanzenſtoffe ſind ternäre Verbindungen, aus Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Kohle, faſt alle Thierſtoffe quaternäre aus Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff und Kohle. Man kann nicht jeden Stoff, der ſich in ſeine Beſtandtheile zerlegen läßt, wieder aus denſelben zuſam-

menſetzen. Dieſes gilt namentlich von den meiſten Stoffen, die unter dem Einfluſſe der Lebensthätigkeit gebildet werden, und man kann kein Blut, kein Fleiſch, keine Pflanzenfaſer auf chemiſchem Wege erzeugen, ungeachtet man die Grundſtoffe, aus denen dieſe Körper beſtehen, nicht blos der Qualität, ſondern auch der Quantität nach ziemlich genau kennt.

69. Die chemiſch zuſammengeſetzten Körper laſſen ſich wahrſcheinlich wie die einfachen in eine Reihe zuſammenſtellen, in der ſie nach Maßgabe ihrer chemiſchen Differenz auf einander folgen, und jeder in dieſer Reihe vorangehende kann gegen einen nachfolgenden als negativ, der folgende ſelbſt aber als poſitiv angeſehen werden; doch kann man dieſe Reihe noch nicht darſtellen, theils wegen der durch die große Anzahl der Körper obwaltenden Schwierigkeit der Anordnung, theils wegen der Lücken, die ohne Zweifel noch Statt finden und erſt durch die Erfahrung ausgefüllt werden müſſen. Man kann alle zuſammengeſetzten Körper in Säuren, Baſen, Salze und indifferente Stoffe eintheilen; jede dieſer Körperklaſſen hat einen eigenthümlichen, von den übrigen abweichenden Character, den wir kurz bezeichnen wollen.

70. Säure heißt, der Wortbedeutung nach, jeder Körper, der einen ſauren Geſchmack erregt. Da aber ſauer ſchmeckende Körper zugleich den Veilchenſyrup und eine Lackmusauflöſung röthen und zwar ſelbſt dann noch, wenn ſie durch Waſſer ſo ſehr verdünnt ſind, daß ſie den Geſchmacksſinn nicht mehr zu afficiren vermögen; ſo hielt man letztere Wirkung für geeigneter zu einem characteriſtiſchen Kennzeichen und betrachtete alles als Säure, was dieſe Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht ſauer ſchmeckt, wie z. B. die Blauſäure, die Schwefelwaſſerſtoffſäure. Allein damit ein Körper dieſe Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im Waſſer löslich ſeyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchenſyrup ꝛc. röthenden in allen, ihre chemiſche Natur characteriſirenden Eigenſchaften (beſonders in ihrem electriſchen Verhalten) übereinſtimmen und daher mit denſelben in eine Klaſſe gezählt werden müſſen, ohne im Waſſer aufgelöſet zu werden, wie z. B. die Kieſelſäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemiſchen Verhalten mit den gewiſſe Pflanzenfarben röthenden übereinſtimmen. Dieſem Verhalten gemäß, iſt ein Körper nicht an und für ſich, ſondern blos im Verhältniß zu anderen eine Säure und kann im Verhältniß mit wieder anderen dieſen

Character, ohne eine Änderung ſeiner inneren Natur, verlieren, indem der Begriff Säure in dem heutigen Sinne blos etwas Relatives bezeichnet.

71. Jede Säure beſteht aus einem ſäurefähigem Radicale und aus dem ſäuernden Princip; erſteres iſt bald ein chemiſch einfacher, bald ein zuſammengeſetzter Körper, letzteres faſt immer ein Grundſtoff und zwar meiſtens Sauerſtoff, doch kann für einige Radicale die Stelle desſelben auch Chlor, Jod, Brom, Fluor, Schwefel, Selen, ein Metall oder gar Cyan (ein aus Stickſtoff und Kohle beſtehender Körper), Schwefelcyan ꝛc. vertreten. Säuren ohne Sauerſtoff haben zum Radicale meiſtens Waſſerſtoff (es können aber auch andere Körper den Waſſerſtoff vertreten, wie z. B. Wolfram in der wolframſchwefeligen Säure); daher werden die Säuren überhaupt in Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäuren eingetheilt. Manches Radicale verbindet ſich in mehreren Verhältniſſen mit dem ſäuernden Princip und liefert demnach mehrere Säuren, die ſich nicht durch die Natur ihrer Beſtandtheile, ſondern durch ihr quantitatives Verhältniß von einander unterſcheiden, ja es gibt Fälle, wo ſogar bei demſelben quantitativen und qualitativen Verhältniſſe verſchiedene Säuren zum Vorſchein kommen, wie dieſes z. B. bei der Phosphor- und der Pyrophosphorſäure der Fall iſt. Hier kann der Unterſchied blos in der verſchiedenen Verbindungsweiſe der kleinſten Theile liegen.

72. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Beſtandtheilen, und zwar, wenn ſie Sauerſtoffſäuren ſind, blos nach dem Radicale, indem man demſelben das Wort Säure zuſetzt; ſind ſie Waſſerſtoffſäuren, ſo hängt man dem Säureprincip die Sylbe Hydro an. So heißt die aus Jod und Sauerſtoff beſtehende Säure Jodſäure, eine aus Chlor und Sauerſtoff zuſammengeſetzte Chlorſäure; aber die aus Jod und Waſſerſtoff gebildete Säure wird Hydrojodſäure, die aus Chlor und Waſſerſtoff gebildete Hydrochlorſäure genannt. Verbindet ſich ein Radicale in mehreren Verhältniſſen mit Sauerſtoff, ſo wird die den meiſten Sauerſtoff enthaltende nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge durch das Radicale, als Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerſtoffmenge beſtehende, Chlorſäure, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge chlorige Säure. Kennt man von einem Stoff mehr als zwei Säuren, ſo bezeichnet man

die nach Verhältniß ihres Sauerſtoffgehaltes den dritten und vierten Platz einnehmenden Säuren wie die zwei erſten, mit Beiſetzung des Wörtchens unter. So z. B. gibt es aus Schwefel und Sauerſtoff vier Säuren, deren Namen nach der Ordnung ihres Sauerſtoffgehaltes folgende ſind: Schwefelſäure, ſchwefelige Säure, Unterſchwefelſäure, unterſchwefelige Säure. Manche, oft vorkommende Säuren haben auch triviale Benennungen, die von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem ſie erzeugt werden ꝛc. hergenommen werden. So nennt man die verdünnte Stickſtoffſäure Scheidewaſſer, weil ſie zum Scheiden der Metalle gebraucht wird, oder weil ſie aus Salpeter gewonnen wird, Salpeterſäure; die meiſtens aus Kochſalz bereitete Hydrochlorſäure heißt Salzſäure.

Unter den Grundſtoffen liefern folgende entſchiedene Säuren: Stickſtoff, die Salpeterſäure und ſalpetrige Säure; Chlor, die Chlorſäure, chlorige Säure und Hydrochlorſäure; Brom, die Bromſäure und Hydrobromſäure; Jod, die Jodſäure und Hydrojodſäure; Schwefel, die Schwefelſäure, ſchwefelige Säure, Unterſchwefelſäure, unterſchwefelige Säure und die Hydroſchwefelſäure (Hydrothionſäure); Selen, die Selenſäure, ſelenige Säure und Hydroſelenſäure; Phosphor, die Phosphorſäure, die phosphorige Säure und unterphosphorige Säure; Fluor, die Hydrofluorſäure; Bor, die Borſäure; Kieſel, die Kieſelſäure; Kohlenſtoff, die Kohlenſäure und kohlige Säure (Oxalſäure); unter den Metallen liefern beſonders Tantal, Titan, Antimon, Molybdän, Wolfram, Chrom, Mangan, Osmium, Arſenik, Tellur, Vanadin, entſchiedene Säuren; es kann aber jedes Metalloxyd in gewiſſen Verhältniſſen die Rolle einer Säure ſpielen, und zwar deſto leichter, je mehr Sauerſtoff es aufzunehmen im Stande iſt. Daß mancher Stoff noch überdies in beſonderen Fällen als Säure wirken kann, geht aus dem Begriff einer Säure, die etwas nur Relatives iſt, hervor. Viele dieſer Säuren finden ſich im freien oder in einem an einen Stoff gebundenen Zuſtande in der Natur, können aber auch durch Kunſt bereitet werden; manche werden blos durch Kunſt bereitet, manche kann man aber durchaus nicht aus ihren Beſtandtheilen zuſammenſetzen. Letzteres gilt insbeſondere von den organiſchen (den Pflanzen- und Thier-) Säuren, deren Grundlage meiſtens Kohle und Waſſerſtoff, oder Kohle, Waſſerſtoff und Stickſtoff iſt. Einige Säuren ſind ſelbſt für den Phyſiker beſonders wichtig, weshalb ſie hier kurz characteriſirt werden.

Die Salpeterſäure erhält man zugleich mit der ſalpetrigen Säure, wenn man verkleinerten Salpeter mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erhitzt. Da entwickeln ſich gelblich rothe

Dämpfe, die ſich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüſſigkeit verdichten laſſen, welche beſtändig Dämpfe, wie die, woraus ſie entſtanden iſt, ausſendet und rauchende Salpeterſäure heißt. Sie iſt eine Verbindung von Salpeterſäure und ſalpetriger Säure, aus der man erſtere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Waſſer vertreibt. Im erſteren Falle erhält man ſie rein und concentrirt, im letzteren in verdünntem Zuſtande, in welchem ſie, wenn ſie bereits perlblau oder waſſerhell geworden iſt, doppeltes oder einfaches Scheidewaſſer heißt. Die reine Salpeterſäure hat einen ſehr ſauren Geſchmack, färbt die thieriſche Haut und andere organiſche Körper dauerhaft gelb, zerſtört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet ſich unter Wärmeentwickelung mit Waſſer, zieht dasſelbe ſogar aus der Atmoſphäre an; ſie nimmt keinen Sauerſtoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desſelben an leicht oxydirbare Körper ab und verwandelt ſich dann in ſalpetrige Säure oder gar in Stickſtoffoxyd (Salpetergas) oder in oxydirtes Stickgas, ja ſie kann ſogar denſelben ganz fahren laſſen.

Die Salzſäure (Chlorwaſſerſtoffſäure) erhält man, wenn man Kochſalz mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erwärmt. Sie erſcheint in Geſtalt weißer Dämpfe, die ſich zu tropfbarer Säure verdichten laſſen, welche aber noch immer Dämpfe ausſtoßt, und darum auch rauchende Salzſäure heißt. In reiner Gasgeſtalt iſt ſie farbelos, unathembar, weder brennbar, noch das Brennen nährend, röthet Pflanzenfarben, ohne ſie zu zerſtören, macht aber die organiſchen Körper mürbe und erregt auf der Haut eine ſtechende Empfindung.

Schwefelige Säure iſt das erſtickende Gas, das ſich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt und das man auch erhält, wenn man Queckſilber mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erhitzt. Es iſt farbelos, hat einen erſtickenden Geruch, iſt weder ſelbſt brennbar noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thieriſche Subſtanzen, wird vom Waſſer abſorbirt und ſo in tropfbare Säure verwandelt, kann aber durch ſtarke Erkältung oder durch einen nur etwas ſtarken Druck tropfbar werden und ſtellt dann eine waſſerklare Flüſſigkeit dar, welche ſchon bei — 8° R. ſiedet.

Von der Schwefelſäure kommen im Handel zwei Sorten vor; die weiße engliſche oder die braune ſächſiſche (oder das Nordhauſer Öhl), wovon erſtere durch Verbrennen des Schwefels, letztere durch Deſtillation des Eiſenvitriols erhalten wird, aber jede muß erſt durch Deſtillation concentrirt und gereiniget werden. Die wäſſerige reine Schwefelſäure iſt ein waſſerheller, geruchloſer, wie Öhl flüſſiger Körper, der alle Eigenſchaften einer ſtarken Säure hat, mit Waſſer ſich heftig erhitzt, ſelbes ſchon aus der Atmoſphäre ſtark anzieht, und es überhaupt überall aus ſeinen Beſtandtheilen zu bilden ſucht. Daher kommt auch die zerſtörende und verkohlende

Kraft, mit welcher ſie auf alle organiſchen Körper wirkt und ſelbſt das Schwarzwerden dieſer Säure in Berührung mit organiſchen Stoffen oder mit der Luft, die organiſche Ausdünſtungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelſäure in einer Retorte mit vorgelegtem Ballon, ſo ſammeln ſich in letzterem asbeſtartige Kryſtalle, die reine waſſerhelle Schwefelſäure darſtellen.

Die Schwefelwaſſerſtoffſäure (Hydrothionſäure) erhält man durch Erwärmen des rohen, mit Salzſäure übergoſſenen Spießglanzes. Sie bildet ein farbeloſes, nach faulen Eiern riechendes, wohl zum Selbſtbrennen, aber nicht zum Unterhalten des Brennens anderer Körper taugliches, für die Reſpiration höchſt nachtheiliges Gas. Es wird vom Waſſer aufgenommen, läßt ſich aber auch ohne Waſſer durch ſtarken Druck tropfbar darſtellen und liefert dann eine ungemein bewegliche, waſſerhelle Flüſſigkeit. Die wäſſerige Säure hat den Geruch des Gaſes und wird in der Luft zerſetzt.

Die Phosphorſäure bildet einen feſten, äußerſt feuerbeſtändigen, ſchwach ſauer ſchmeckenden, im Waſſer löslichen Körper. Sie wird aus thieriſchen Knochen mittelſt Schwefelſäure bereitet. Man kennt auch eine phosphorige und unterphosphorige Säure.

Die Flußſäure erhält man durch Zerlegung des Flußſpathes mittelſt Schwefelſäure. Sie erſcheint da in Gasgeſtalt, iſt höchſt irreſpirabel, weder ſelbſt brennbar noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, löſet das Glas auf, daher man es zum Ätzen desſelben brauchen kann, und erregt auf der Haut ſchmerzhafte Geſchwüre; es wird vom Waſſer abſorbirt und ertheilt demſelben ſeine, Kieſelerde und Glas auflöſende Kraft.

Die Kohlenſäure erſcheint in der Regel als Gas und wird nur durch ſehr ſtarken Druck ohne Waſſer tropfbar. Als Gas iſt ſie ſchwerer als atmoſphäriſche Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Waſſer leicht abſorbirt und ertheilt demſelben einen angenehmen, ſäuerlichen Geſchmack; ſie widerſteht der Fäulniß mächtig. Sie findet ſich als Gas an vielen Orten der Erde und ſtrömt hie und da von ſelbſt aus beſonderen Öffnungen mit oder ohne Waſſer hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; es entwickelt ſich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künſtlich durch Schwefelſäure aus Kreide, Marmor ꝛc. ausgetrieben. Man benützt ſie häufig zur Bereitung künſtlicher Mineralwäſſer.

73. Baſen ſind in chemiſcher Beziehung den Säuren gerade entgegengeſetzt und verbinden ſich mit den Säuren zu Salzen; ſie beſtehen faſt immer aus zwei Grundſtoffen und meiſtens iſt einer derſelben ein Metall. Bei einigen dieſer Körper geht der

Gegenſatz mit den Säuren ſo weit, daß ſie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben wieder herſtellen und ſelbſt eine Änderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzenſäfte bewirken (ſie färben den Veilchenſyrup grün, die Curcumetinctur braun), welche aber wieder durch Säuren aufgehoben wird. Diejenigen, bei welchen der Gegenſatz zu den Säuren ſo ſtark hervortritt, heißen **Alkalien** oder **alkaliſche Erden**, je nachdem ſie im Waſſer leicht oder nur wenig löslich ſind, auch die ſchlechtweg Erden genannten Körper ſo wie die meiſten Metalle mit Sauerſtoff, Chlor, Jod, Brom, Schwefel ꝛc. verbunden gehören hieher; auch das Pflanzen- und Thierreich liefert Baſen, wovon einige ſogar Spuren einer alkaliſchen Natur an ſich tragen. Übrigens iſt der Character einer Baſis eben ſo relativ, wie der einer Säure und es kann ſich ein Stoff gegen einen zweiten entſchieden als Baſis, gegen einen dritten aber eben ſo beſtimmt als Säure verhalten, oder gar indifferent ſeyn.

Die **Alkalien** haben einen eigenthümlichen brennenden Geſchmack, greifen organiſche Subſtanzen an und zerſtören ſie mit der Zeit, darum man ſie ätzend nennt; ſie ſind ſchmelzbar und laſſen ſich ſogar verflüchtigen; ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den tropfbaren oder feſten Maſſen nichts bemerkt. Sie liefern mit Öhlen im Waſſer lösliche Seifen. Man kennt vier derſelben: Kali, Natron, Lithion, Ammoniak; die drei erſteren ſind Metalloxyde, das letztere beſteht aus Waſſerſtoff und Stickſtoff, und unterſcheidet ſich noch von den übrigen durch ſeine große Flüchtigkeit, vermöge welcher es leicht in Gasform erſcheint. Die alkaliſchen Erden beſitzen faſt mit den Alkalien einerlei Eigenſchaften, nur ſind ſie weniger löslich im Waſſer und haben ein erdartiges Ausſehen, geben mit Öhl im Waſſer unlösliche Seifen und ſind einzeln für ſich nicht ſchmelzbar. Sie ſind durchaus Metalloxyde, und zwar Oxyde von Baryum, Strontium, Calcium, Magneſium, und führen demnach die Namen: Baryt-, Strontian-, Kalk-, Bittererde. Den eigentlichen Erden fehlt die Ätzkraft, die Wirkung auf Pflanzenfarben und der Geſchmack, auch ſind ſie im Waſſer gar nicht oder nur in äußerſt geringer Menge löslich, geben mit Öhlen keine Seifen und ſind für ſich einzeln nicht ſchmelzbar. Sie ſind ohne Ausnahme Metalloxyde und zwar die Oxyde von Aluminium, Thorium, Beryllium, Yttrium, Zirconium, und heißen demnach Alaun- (Thon-), Thor-, Beryll-, Ytter- und Zirconerde. Viele der übrigen Metalloxyde ſind entſchieden Baſen, ja einige derſelben, wie z. B. das Zinkoxyd, Bleioxyd, ſtellen ſich ſogar in Betreff ihrer baſiſchen Natur nahe an die alkaliſchen Erden, indem ſie wie dieſe auf Pflanzenfarben wirken und nur durch ihre geringe

Löslichkeit im Waſſer von den Alkalien getrennt ſind, aber einige Metalloxyde müſſen erſt einen Theil ihres Sauerſtoffs fahren laſſen, andere noch mehr aufnehmen, um als Baſen auftreten, d. h. ſich mit Säuren zu Salzen verbinden zu können; erſtere nennt man darum auch Hyperoxyde, letztere Oxydule. Viele der organiſchen Salzbaſen ſtehen den alkaliſchen Erden ſehr nahe, wie z. B. das Morphin, das Strychnin; faſt alle haben einen eigenthümlichen unangenehmen Geſchmack und, beſonders die vegetabiliſchen, eine beſonders heftige Wirkung auf den Organismus.

74. Salze ſind Verbindungen der Säuren mit Baſen, alſo Verbindungen der zweiten Ordnung. Sie ſind im waſſerfreien Zuſtande feſt, und wenn ſie rein ſind und aus farbeloſen Baſen und Säuren beſtehen, auch farblos; die aus farbigen Baſen beſtehenden haben meiſtens die Farbe der waſſerhaltigen Baſis oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt ſtark von dem Waſſergehalte ab. Die meiſten Salze ſind im Waſſer löslich und haben einen eigenthümlichen Geſchmack; ihre Löslichkeit im Waſſer hängt von der Natur der Säure und Baſis, vom Oxydationszuſtande der letzteren, vom Miſchungsverhältniſſe der zwei Beſtandtheile und von der Temperatur ab; ſie brauchen faſt durchaus dem Gewichte nach mehr Waſſer, als ihr eigenes Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und dieſe nach der Baſis in Arten ein. So z. B. bilden die ſchwefelſauren, ſalpeterſauren, kohlenſauren Salze Gattungen, ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaures Eiſenoxyd Arten der Gattung ſchwefelſaurer Salze. Man bezeichnet ſie dadurch, daß man der Baſis den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorſetzt, wie die vorhergehenden Beiſpiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wiſſenſchaft mit Nutzen gebraucht werden. Man ſagt nämlich lieber Salpeter als ſalpeterſaures Kaliumoxyd, Glauberſalz ſtatt waſſerhaltiges, kryſtalliſirtes, ſchwefelſaures Natriumprotoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Character und unterſcheidet ſich dadurch von den übrigen Gattungen. Man theilt die Salze in neutrale, ſaure und baſiſche ein und verſteht unter erſteren ſolche, bei denen der Sauerſtoff der Säure ein Multiplum vom Sauerſtoff der Baſe iſt; beträgt der Sauerſtoffgehalt der Säure mehr, ſo heißt das Salz ſauer, beträgt er weniger, baſiſch. Es enthält demnach keinen Widerſpruch, wenn man ſagt, die Auflöſungen der

neutralen Eiſenoxydſalze röthen den Lackmus. Es kann ſich aber nicht jede Baſe in dieſem dreifachen Verhältniſſe mit einer Säure zu Salzen verbinden, ſo wie überhaupt nicht jede Baſe mit jeder Säure ein Salz gibt; dafür verbindet ſich wieder manche Baſe zugleich mit zwei Säuren und noch häufiger eine Säure mit zwei Baſen, und es entſtehen auf dieſe Weiſe die ſogenannten Doppel- und dreifachen Salze, wovon der Alaun ein Beiſpiel gibt, wo die Schwefelſäure mit Kali und Thonerde zugleich verbunden vorkommt. Salze mit drei Baſen und einer Säure kommen wohl auch, doch ſeltener vor.

Die älteren Chemiker nannten jeden, wenigſtens in 500 Th. Waſſer löslichen Körper ein Salz und begriffen demnach auch Säuren, Alkalien ꝛc. unter dieſem Namen; ſpäter hat man nur Verbindungen von Sauerſtoffſäuren mit Metalloxyden oder Ammoniak Salze genannt; allein dagegen erklärten ſich Viele, weil man dadurch gerade das characteriſtiſcheſte der Salze, das Kochſalz (Natriumchlorid) von den Salzen ausſchließt. Um dieſem Übelſtande zu begegnen hat Berzelius den Begriff Salz dahin modificirt und erweitert, daß er ihn nicht auf die Zuſammenſetzung ſondern auf die Eigenſchaften des Productes bezieht und den Character eines Salzes blos in den Zuſtand der vollkommenen Neutraliſation verſetzt, die nächſten Beſtandtheile mögen nun einfach oder zuſammengeſetzt ſeyn. Demnach ſind die Chloride, Jodide, Fluoride (B. nennt ſie Haloidſalze), ja ſelbſt das Waſſer ein Salz. Es ſcheint, obiger Begriff entgehe allen dieſen Unzukömmlichkeiten, beſonders wenn man annimmt, das Kochſalz ſey eine Verbindung von Natriumchlorid mit Waſſer und erſteres ſpiele die Rolle der Baſe, letzteres die der Säure.

75. Indifferente Stoffe ſind alle diejenigen, welche weder Säuren noch Baſen ſind. Es gibt vielleicht keinen abſolut indifferenten Stoff, aber in Beziehung auf gewiſſe Körper ſind einige entſchieden indifferent. Derlei findet man im Reiche der organiſchen und unorganiſchen Natur.

76. Aus der bisherigen Darſtellung der materiellen Verſchiedenheit der Körper erſieht man, daß dieſelbe durch die quantitative und qualitative Verſchiedenheit der Beſtandtheile und durch deren Verbindungsweiſe bedingt iſt, und daß alles hierauf Bezug habende gewiſſen unveränderlichen Geſetzen unterliegt; jeder Körper hat nicht blos ſeine vorgeſchriebene Wirkungsweiſe, ſondern auch in dieſer Beziehung einen eigenen, numeriſch beſtimmten Werth (ſtöchiometriſche Zahl) und kann demnach durch ſeine Beſtandtheile und

deren Verbindungsweiſe characteriſirt werden. Um dieſes möglichſt kurz bewerkſtelligen zu können, hat man eine eigene chemiſche Zeichenſprache eingeführt, nach welcher jeder einfache Stoff mit dem Anfangsbuchſtaben ſeines lateiniſchen Namens, und daher Sauerſtoff (*Oxygenium*) mit *O*, Phosphor mit *P* ꝛc., bezeichnet wird, nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden iſt, ſetzt man zu dieſem noch den nächſten characteriſtiſchen Buchſtaben des Namens, daher bedeutet *Fe* Eiſen (*Ferrum*), *St.* Antimon (*Stibium*), um erſteres vom Fluor (*F*), letzteres vom Schwefel (*S*) zu unterſcheiden; das Waſſer führt das Zeichen *Aq* (*aqua*). Zuſammengeſetzte Körper der erſten Ordnung werden durch unmittelbares Zuſammenſtellen der Zeichen ihrer Beſtandtheile angedeutet und z. B. Schwefeleiſen mit *FeS* bezeichnet, nur der Sauerſtoff wird oft durch einen, über dem Zeichen des damit verbundenen Körpers geſetzten Punct ausgedrückt. Pflanzenſäuren führen über dem Anfangsbuchſtaben ihres Namens einen Querſtrich. $\overline{A}$ heißt Eſſigſäure (*Acidum aceticum*). Kommen in einer Verbindung von einem Beſtandtheile mehrere Atome vor, ſo bezeichnet man ihre Anzahl mit einem Exponenten, nur die Anzahl der Sauerſtoffatome wird durch die Anzahl Puncte angedeutet. So z. B. heißt $Hg\,Cl'$ Chlorqueckſilber (1 At. Queckſilber, 2 At. Chlor), $\dddot{S}$ Schwefelſäure (1 At. Schwefel, 3 At. Sauerſtoff), $\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N}$ Salpeterſäure (1 At. Stickſtoff, 5 At. Sauerſtoff). Bei Zuſammenſetzungen einer höheren Ordnung werden die nächſten Beſtandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden. So z. B. heißt $\dot{K} + \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N}$ Salpeter (1 At. Kaliumoxyd und 5 At. Salpeterſäure), $\dot{Ca}\dddot{S} + 2\,Aq.$ kryſt. Gips (1 At. ſchwefel. Kalk, 2 At. Waſſer).

77. Die Natur arbeitet ununterbrochen an materiellen Veränderungen der Körper, und nur weil die chemiſchen Kräfte nicht die einzigen Naturkräfte ſind und andere dieſen entgegenwirken, treten ſolche Veränderungen oft lange nicht, oder wie es uns ſcheint, gar nicht ein. Dieſes ſieht man beſonders an organiſchen Producten.

So lange das geheimnißvolle Spiel der Lebenskraft der chemiſchen Thätigkeit im Wege ſteht oder ſie wenigſtens modificirt, erhält ſich der Organismus in ſeinem Baue; ſo wie aber der Tod eintritt, gewinnen die chemiſchen Thätigkeiten unter Mitwirkung der atmoſphäriſchen Luft, des Waſſers und der Wärme ꝛc. die Oberhand und der organiſche Körper erfährt ſeine Zerſtörung.

Während dieſer Kataſtrophe erleiden Subſtanzen, welche Zucker und einen ſtickſtoffhaltigen Antheil (Ferment) enthalten, unter günſtigen Umſtänden, eine beſondere Veränderung, die unter dem Namen der geiſtigen oder weinigen Gährung bekannt iſt. Die Bedingungen, unter denen dieſe Veränderung eintritt, ſind: 1) Tropfbarer Zuſtand, der den kleinſten Theilen eine hinreichende Beweglichkeit gewährt. 2) Gemeinſchaft mit der atmoſphäriſchen Luft wenigſtens eine kurze Zeit hindurch, oder nach Döbereiner mit Kohlenſäuregas. 3) Eine Temperatur über 0° und unter 80° *R.* 4) Ruhe. 5) Eine hinlänglich große Maſſe. Sind dieſe Bedingungen vorhanden, ſo wird die Maſſe durch innere Thätigkeit trübe, erwärmt ſich noch mehr, gewinnt am Volumen und gibt Luftblaſen von ſich, die ſich als Kohlenſäuregas characteriſiren. Nach einiger Zeit laſſen alle dieſe Phänomene nach, die Flüſſigkeit klärt ſich und zeigt eine ganz veränderte Natur, indem ſie nicht mehr wie früher ſüß, ſondern weinartig ſchmeckt, eine berauſchende Eigenſchaft hat und bei der Deſtillation Weingeiſt, eine leicht entzündliche, flüchtige, ſcharf ſchmeckende, ſich mit Waſſer leicht miſchende, Harze und Öhle auflöſende Flüſſigkeit gibt, die im reinen Zuſtande den Namen Alkohol führt und mit Säuren die ſogenannten Äther bildet. Der Alkohol iſt es, dem die Flüſſigkeit nach der Gährung ihre berauſchende Kraft verdankt, und von deſſen Menge hängt ihre Stärke ab. Er wird auf Koſten des Zuckergehaltes gebildet. Hieraus wird man es ſich erklären, was bei der Bereitung der Weine im allgemeinſten Sinn des Wortes (wodurch man alle berauſchenden Getränke bezeichnet) vor ſich geht, und einſehen, warum ſaure Trauben ſchlechten oder nur ſchwachen Wein geben; warum Bier um ſo ſtärker wird, je mehr Malz man zu deſſen Bereitung anwendet; wie Äpfel, Birnen zur Bereitung des Obſtweines, Kartoffeln, Kirſchen, Syrupe zur Erzeugung des Alkohols oder Brantweins verwendet werden können. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der erſten heftigen Gährung und geben daher ein zugleich berauſchendes und ſüßes Getränke, wie die ſogenannten Ausbrüche, der Meth ꝛc. Trauben unter Queckſilber gepreßt und ganz von der Luft abgeſperrt, geben keinen Wein. Übrigens dauert die Weingährung, ſelbſt wenn das Kohlenſäuregas nicht entweichen kann, ſondern ſich über gährendem Moſte verdichten muß, fort, ſie hört auch nicht auf; daher Weine mit der Zeit immer ſtärker werden, aber wenn

ſie ſüß ſind, nach und nach dieſen Geſchmack verlieren, und auch, wenn ſie freie Säure enthalten, dieſelbe abſetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der erſten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeſchloſſen, ſo nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlenſaure Luft auf und gibt ſie erſt nach dem Öffnen des Gefäßes nach und nach wieder von ſich, wie dieſes mit dem mouſſirenden Champagner, Bouteillenbier ꝛc. der Fall iſt.

78. Wird die weinartige Flüſſigkeit, bei fernerem Luftzutritte, einer Wärme von 20 — 25° R. ausgeſetzt, ſo erleidet ſie eine neue Veränderung, die Eſſiggährung heißt. Dabei trübt ſie ſich von Neuem, abſorbirt Sauerſtoffgas aus der Atmoſphäre, bedeckt ſich an der Oberfläche mit einer kahmigen Haut, wird allmählig wieder klar, hat die berauſchende Kraft verloren und ſchmeckt dafür ſauer. Durch Deſtillation bekommt man daraus die Eſſigſäure. Unſer gewöhnlicher Eſſig iſt nicht reine Eſſigſäure, ſondern enthält nur mehr oder weniger von derſelben; nur guter Wein gibt guten Eſſig, aber durch Zuſätze kann auch aus mittelmäßigem Wein guter Eſſig gewonnen werden.

Das ſo erhaltene Product verändert ſich zum letzten Male, um ganz durch Fäulniß in das Reich des Unorganiſchen zurückzukehren. Dieſe Veränderungen erleiden nicht blos jene Körper, welche die beiden genannten Arten der Gährung bereits ſchon überſtanden haben; denn die Stoffe, welchen der Zucker und das Ferment fehlt, gehen bei gehöriger Temperatur, bei hinreichender Feuchtigkeit und unter Zutritt der atmoſphäriſchen Luft gleich in Fäulniß über, indem ſie einen üblen Geruch bekommen, weich und breiartig werden, Luftarten von ſich geben, und endlich nur eine erdartige Maſſe zurücklaſſen. Auf dieſem Wege kehrt das Organiſche ins Reich des Unorganiſchen zurück, wird von Pflanzen als Nahrung aufgenommen, und in deren Subſtanz verwandelt, damit ſie den Kreislauf der Natur von Neuem beginne. Indeß laſſen ſich organiſche Körper, ſelbſt nachdem das Leben entwichen iſt, bei zweckmäßiger Behandlung unverſehrt erhalten, wenn man die Bedingungen der Gährung entfernt hält und fäulnißwidrige Mittel anwendet. Dergleichen ſind: Ammoniak, Eiſenvitriol, Eſſigſäure, Weingeiſt, Harze, Kohlenſtoff, Arſenik ꝛc. Hieraus begreift man die Bereitung des Bundmoſtes, des Wermuthweines, warum ſich Holz in trockenem Zuſtande an einem luftigen Orte, Leichen in großer Kälte, in heißem Sande oder in Kalkboden ſo lange unverſehrt erhalten laſſen; ferner der

Nutzen des Räucherns des Fleiſches, warum man hölzerne Pflöcke verkohlt, anatomiſche Präparate im Weingeiſt aufbewahrt, Thiere in Naturalienſammlungen mit Arſeniklöſung von Innen wäſcht, Leichen einbalſamirt (Mumien) ꝛc.

Mehr hierüber muß man in chemiſchen Werken ſuchen, unter denen ich beſonders nennen zu müſſen glaube: Scholz Lehrbuch der Chemie. Wien, 2. Auflage, 1829—1831. Berzelius Lehrbuch der Chemie, aus dem Schwediſchen überſetzt von F. Wöhler. Dresden, 1825—1831. (Bis jetzt noch unvollendet.)

Zweiter Abſchnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

79. Wir erklären uns den inneren Verlauf der Erſcheinungen der Körperwelt meiſtens durch Annahme von Kräften, deren allgemeiner Character darin beſteht, daß ſie eine Bewegung wirklich hervorbringen, oder doch hervorzubringen ſuchen (11). Jede Kraft, auf welche uns Erſcheinungen führen, hat zwar eine eigene Wirkungsweiſe, doch gibt es allgemeine Geſetze, an welche alle gebunden ſind und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erſcheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirkſamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder durch einen Widerſtand (der als Gegenkraft angeſehen werden kann) aufgehoben wird, iſt Bewegung; iſt ihre Wirkung gehemmt, ſo herrſcht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zuſammen machen die Mechanik aus.

Erſtes Kapitel.

Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte.

80. Bei jeder Kraft kommt in Betrachtung: 1) ihr Angriffspunct, d. i. der Punct, auf den ſie unmittelbar wirkt, 2) ihre Richtung, 3) ihre Größe. Der Angriffspunct wird, wie jeder andere Punct, den geometriſchen Lehren gemäß, durch ſeinen Abſtand von drei auf einander ſenkrechten Ebenen, wie *XOY*, *ZOY*, *ZOX*, (Fig. 7) beſtimmt. Wäre *B* dieſer Punct, *Ba* ſein Abſtand von *ZOY*, *Bb* der von *XOY*, *Bc* der von *XOZ*, ſo iſt ſeine Lage im Raume durch *Ba*, *Bb*, *Bc* gegeben. Die Richtung, d. i. die Linie, nach der die Kraft das Bewegliche fortzutreiben ſucht, iſt gegeben,

wenn man die Winkel kennt, die ſie mit den Durchſchnitten *OX*, *OY*, *OZ* der drei auf einander ſenkrechten Ebenen *XOY*, *ZOY*, *ZOX* macht. Iſt z. B. *OB* dieſe Richtung, ſo iſt ſie durch die Winkel *BOX*, *BOY*, *BOZ* gegeben.

Um einzuſehen, wie ſich Kräfte, die uns doch ihrer Natur nach ganz unbekannt ſind, ihrer Größe nach beſtimmen laſſen, muß man einen klaren Begriff von dem haben, was man gleiche Kräfte, ferner was man eine doppelte, *n*fache Kraft nennt. Gleiche Kräfte ſind ſolche, die nach entgegengeſetzten Richtungen auf einen Punct, oder längs einer feſten, geraden Linie wirkend, ſich das Gleichgewicht halten. Denkt man ſich nun 2, 3 oder *n* gleiche Kräfte nach derſelben Richtung wirkend, ſo hat man eine Vorſtellung von einer zweifachen, dreifachen, *n*fachen Kraft. Letztere iſt daher die Summe von *n* gleichen Kräften. Unter dieſen Umſtänden ſind die Kräfte meßbare Größen, können daher durch Zahlen und Linien ausgedrückt und den Richtungen nach, wenn ſie einander entgegengeſetzt ſind, durch die Zeichen + und — unterſchieden werden. Um ſie durch Zahlen zu bezeichnen, nimmt man eine beliebige Kraft als Einheit an und drückt die anderen durch Zahlen aus, welche das Verhältniß der Kräfte angeben. Um ſie durch Linien darſtellen zu können, drückt man eine Kraft durch eine beliebige Linie aus, die anderen hingegen durch ſolche, die mit jener im Verhältniß der Kräfte ſtehen. Kräfte, die ſich verhalten, wie $m : n$, ſind alſo durch Linien darſtellbar, deren Verhältniß auch $m : n$ iſt. Dieſe Linien können auch die Richtungen der Kräfte anſchaulich machen.

81. Wenn mehrere Kräfte, die nicht im Gleichgewichte ſind, auf Einen Punct wirken, ſo iſt immer eine **einzige** denkbar, welche, der Wirkung nach, allen zuſammengenommen gleich iſt, da der Punct ſeine Bewegung doch nur nach Einer Richtung, alſo gerade ſo, als ob er von einer einzigen Kraft getrieben würde, zu beginnen vermag. Man heißt dieſe Kraft die **Reſultirende** *(vis resultans)*. Eben ſo kann man ſich ſtatt Einer Kraft immer mehrere denken, deren Wirkung der einzigen gleich kommt. Die Reſultirende mehrerer Kräfte finden, heißt letztere **zuſammenſetzen**; ſtatt Einer Kraft mehrere, ihr gleichgeltende Kräfte ſetzen, heißt erſtere **zerlegen**.

82. Wenn mehrere Kräfte auf einen Punct nach derſelben Richtung wirken, ſo iſt die Reſultirende gleich der Summe aller

einzelnen Kräfte, und ihre Richtung ſtimmt mit jener der einzelnen Kräfte überein. Wirken zwei Kräfte auf einen Punct nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt die Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede, und ihre Richtung mit jener der größeren Kraft einerlei. Dieſe Sätze ergeben ſich ſchon aus dem Begriffe von der Größe einer Kraft.

83. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und P' einen Winkel einſchließen, ſo können ſie nicht im Gleichgewichte ſtehen. Denn es ſey A (Fig. 8) ihr Angriffspunct, AB die Richtung der P, AC die der P', und man ſetze, ſie ſeyen im Gleichgewichte. Verlängert man BA nach D, und denkt ſich nach der Richtung AD eine der P entgegengeſetzte Kraft P'' angebracht; ſo iſt dieſe Kraft die Reſultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beſchaffen ſeyn, alſo auch, wenn $P''=P$ iſt. In dieſem Falle muß auch AC die Reſultirende von P, P' und P'' ſeyn, welches abſurd iſt. Es haben daher ſolche Kräfte eine Reſultirende. Ihre Richtung fällt offenbar zwiſchen AB und AC.

84. Zwei gleiche Kräfte, die einen Winkel BAC (Fig. 9) einſchließen, haben eine Reſultirende, deren Richtung AD den Winkel BAC halbirt; denn es iſt kein Grund vorhanden, warum die Reſultirende der einen näher als der anderen treten ſollte.

85. Die Reſultirende der Kräfte P und P', deren Richtungen (Fig. 10) AB und AC ſind, und wovon $P>P'$, liegt der größeren Kraft P näher als der kleineren P', oder es iſt $DAB<DAC$, wenn AD die Richtung dieſer Reſultirenden bedeutet. Denn iſt $P=P'+p$, ſo kann man ſich vorſtellen, als wirkten nach der Richtung AB zwei Kräfte P' und p, die einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct A und dieſelbe Richtung haben. Iſt die Richtung der Reſultirenden von der erſten und der nach AC wirkenden AE, ſo muß die Reſultirende von dieſer und der Kraft p zwiſchen AB und AE (83) fallen und daher die Richtung AD haben. Da aber $BAE=CAE$ (84) iſt, ſo iſt $DAB<DAC$.

86. Der Angriffspunct A einer Kraft P, welche der Richtung nach durch AE (Fig. 11) vorgeſtellt wird, kann ohne Änderung ihrer Wirkung in jeden anderen Punct D verſetzt werden, der in der Richtung von P liegt und mit A unveränderlich verbunden iſt. Denn denkt man ſich in D zwei gleiche und entgegengeſetzte Kräfte P' und P'', wovon erſtere die Richtung DA, letztere die Richtung DE hat, ſo bleibt die Wirkung von P dieſelbe, wie die aller drei

Kräfte. Iſt noch überdies $P = P' = P''$, ſo heben ſich P und P' auf, es bleibt P'' übrig, und die Wirkung iſt wieder wie im Anfange.

Wenn man den Angriffspunct irgend wohin, z. B. nach C außer der Richtung AE verſetzte, ſo würde ein ganz anderer Erfolg Statt finden; denn brächte P in C dieſelbe Wirkung hervor, wie in D oder A, ſo müßte Gleichgewicht herrſchen, wenn P in A oder in D nach einer und in C nach der entgegengeſetzten Richtung wirkte. In dieſem Falle würde aber eine drehende Bewegung erfolgen. Man darf daher den Angriffspunct einer Kraft nie aus ihrer Richtung verſetzen und kann von einem Puncte, von dem man weiß, daß man den Angriffspunct einer Kraft dahin verſetzen darf, mit Grund behaupten, er liege in der Richtung der Kraft.

87. Die Richtung der Reſultirenden von zwei Kräften P und P', die auf den Punct A (Fig. 12) wirken und deren Richtungen Ax und Ay ſind, iſt durch die Diagonale AB des Parallelogramms $ABCD$ gegeben, deſſen Seiten AC und AD ſich verhalten wie $P:P'$ und welches deshalb Kräftenparallelogramm heißt. Der Beweis dieſes Satzes, den zuerſt Duchayla auf ähnliche Art vortrug, wie hier geſchieht, beſteht aus drei Theilen, wovon ſich der erſte auf gleiche, der zweite auf ungleiche aber commenſurable, der dritte auf incommenſurable Kräfte bezieht.

I. Sind Ax und Ay (Fig. 12) die Richtungen der Kräfte P und P', und iſt $P = P'$, Az die Richtung ihrer Reſultirenden; ſo hat man $xAz = yAz$ (84). Iſt nun B ein Punct in Az, und man zieht BC mit Ay, BD mit Ax parallel; ſo iſt $ACBD$ ein Parallelogramm, wo $AC = AD$ iſt. Der Satz iſt alſo für gleiche Kräfte wahr.

II. Sind die Kräfte P und P', wovon die erſte die Richtung Ax (Fig. 13), die andere die Richtung Ay hat, ungleich; ſo ſetze man $P = p + p'$, und denke ſich ſtatt P in A zwei Kräfte p und p' nach der Richtung Ax angebracht. Iſt Az die Richtung der Reſultirenden von P' und p; ſo kann man in ihr was immer für einen Punct B annehmen und dahin den Angriffspunct dieſer Reſultirenden verſetzen; weil aber dieſe Reſultirende den Kräften P' und p an Wirkung gleich kommt, ſo kann man auch B als Angriffspunct der P' und p betrachten. Zieht man daher Bx' mit Ax und By' mit Ay parallel, ſo iſt es einerlei, ob P' und p nach den Richtungen Ay und Ax auf A, oder nach den Richtungen By' und Bx' auf B wirken. Man verlängere By' bis C, verſetze den Angriffspunct

der Kraft P' nach C, verlege eben dahin den Angriffspunct der Kraft p'; ſo iſt C der Angriffspunct der zwei Kräfte P' und p'. Iſt wieder Cz' die Richtung ihrer Reſultirenden, ſo kann man ſich ihren Angriffspunct dorthin verſetzt denken, wo ſie mit Bx' zuſammentrifft, und ſo wie vorhin wieder D als Angriffspunct der Kräfte P' und p' betrachten. Weil ſich aber auch der Angriffspunct der Kraft p nach D verſetzen läßt, ſo iſt D der gemeinſchaftliche Angriffspunct der Kräfte p, p' und P' oder der Kräfte P und P', oder ihrer Reſultirenden. Es muß daher D in der Richtung der Reſultirenden von P und P' liegen und dieſe Richtung ſelbſt AD ſeyn. Zieht man DE parallel mit Ay und verlängert Bx' bis F, ſo iſt AD die Diagonale des Parallelogramms $AEDF$. Es iſt nun noch zu beweiſen, daß ſich die Seiten AE, AF wie P zu P' verhalten.

Zu dieſem Behufe ſetze man:

$P' = 1$, $p' = 1$, $p = 1$, mithin $P = 2\,P'$, dann
$P' = 1$, $p' = 1$, $p = 2$, mithin $P = 3\,P'$, hierauf
$P' = 1$, $p' = 1$, $p = 3$, mithin $P = 4\,P'$, u. ſ. f. bis
$P' = 1$, $p' = 1$, $p = n{-}1$, wo $P = nP'$ iſt, und unterſuche, wie ſich für jede dieſer Vorausſetzungen $AE : AF$ verhält.

Für die erſte Vorausſetzung hat man

$$P : P' = 2 : 1,\ AC = CE = AF \text{ und daher } AE = 2AF \text{ oder}$$
$$AE : AF = 2 : 1.\ (a)$$

Für die zweite wird bei vorausgeſetzter Richtigkeit von (a)

$$P : P' = 3 : 1 \text{ und } AE : AF = 3 : 1.\ (b)$$

Für den dritten Fall, wenn das Reſultat (b) wahr iſt,

$$P : P' = 4 : 1 \text{ und } AE : AF = 4 : 1$$

oder allgemein für $P : P' = n : 1$,

$$AE : AF = n : 1, \text{ d. i. } AE : AF = P : P'.$$

Da dieſer Beweis allgemein für Kräfte geführt iſt, wovon eine ein Vielfaches der anderen iſt, ſo gilt auch für

$P' : p = n : 1$ die Proportion $AF : AC = n : 1$ und daher iſt $AF : AC = P' : p$. Setzt man nun wieder $p' = p = 1$, mithin $AC = CE = 1$ oder $AE = 2$, ſo iſt auch $P' : P = n : 2$, und

$$AF : AE = n : 2, \text{ mithin } P' : P = AF : AE.$$

Hieraus folgt für $p = 2$ und $p' = 1$, $AE = 3\,AC$ und $P' : P = n : 3$, ſo wie $AF : AE = n : 3$, mithin wieder

$$P' : P = AF : AE.$$

Auf dieſe Weiſe fortgefahren erhält man auch für $P' : P = n : m$ die Proportion $AF : AE = n : m$ und daher $P' : P = AF : AE$.

III. Es ſey *A* (Fig. 14) der Angriffspunct der zwei incommenſurablen Kräfte *P* und *P'*, deren Richtung und Größe durch *AB* und *AC* vorgeſtellt wird, und man nehme an, daß die Richtung ihrer Reſultirenden eine andere ſey, als die der Diagonale des Parallelogramms *ABCD*, z. B. *AE*. Man ziehe durch *E* die mit *CD* Parallele *EF* und denke ſich *AB* in gleiche Theile getheilt, die kleiner ſind als *FC*, ſo daß, wenn ſie von *A* aus auf *AC* übertragen werden, ein Theilungspunct zwiſchen *F* und *C* nach *G* fällt. Da nun *AG* und *AB* commenſurable Kräfte ſind, ſo muß ihre Reſultirende die Richtung *AH* haben, wenn *GH* mit *AB* parallel gezogen worden iſt. Es wäre alſo hier die Reſultirende der Kräfte *AB* und *AC* der erſteren näher, als die der Kräfte *AB* und *AG*, wiewohl $AG < AC$, welches abſurd iſt. Da ſich auf gleiche Weiſe dasſelbe für jeden anderen Punct außer *D* zeigen läßt; ſo kann die Reſultirende keine andere Richtung haben, als die der Diagonale von *ABCD*.

88. Die Reſultirende der Kräfte *P* und *P'* wird auch **der Größe nach** durch die Länge der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte vorgeſtellt. Es ſeyen *AB* und *AC* (Fig. 15) die Kräfte *P* und *P'*, *AD* die Richtung ihrer Reſultirenden, *R* ihre Größe, *AE* die Richtung und Größe einer Kraft *R'*, welche der Kraft *R* gleich und entgegengeſetzt iſt; ſo iſt offenbar zwiſchen den Kräften *P*, *P'*, *R'* Gleichgewicht. Conſtruirt man mit *AE* und *AC* das Parallelogramm *AEFC*; ſo iſt *AF* die Richtung der Reſultirenden *S* von *AE* und *AC*, und es muß auch zwiſchen *P* und *S* Gleichgewicht herrſchen, d. i. es muß *FB* eine gerade Linie ſeyn. Man hat daher $EAF = BAD$, ferner iſt $FEA = ADB$, $EF = BD$, mithin auch $AE = AD$; aber $AE = R$, mithin auch $AD = R$.

Das Dreieck *ABD* oder *ACD* enthält demnach alle Elemente zur Berechnung der reſultirenden Kraft aus den zwei Seitenkräften und dem von ihnen eingeſchloſſenen Winkel; denn es iſt im $\triangle ABD$, $AB = P$, $BD = AC = P'$, $AD = R$, und weil $CAB + ABD = 180^\circ$ iſt, auch $\sin ABD = \sin CAB$.

89. Nach der früher gelehrten Methode kann man auch von mehreren Kräften, die einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben und nach verſchiedenen Richtungen wirken, die Reſultirende finden. Wären z. B. *P*, *P'*, *P''* die Kräfte (Fig. 16), *A* ihr Angriffspunct, *AB*, *AC*, *AD* ihre Richtungen und Größen; ſo ziehe man *BF*

mit AC parallel und ihr gleich, eben ſo FG mit AD parallel und ihr gleich, und es iſt AG die Reſultirende aller gegebenen Kräfte.

90. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zuſammen an Wirkung gleich kommen. Man darf ſie nämlich nur als eine Seite eines Dreiecks betrachten und durch zwei andere Seiten das Dreieck vollenden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder ſo verfährt, zerlegt man ſie in jede beliebige Anzahl von Kräften. So kann die Kraft $P = AB$ (Fig. 17) in die Kräfte AC, CB; AC wieder in AD und DC, mithin AB in AD, DC, CB zerlegt werden.

91. Sollen Kräfte, die einerlei Angriffspunct haben, mit einander im Gleichgewichte ſtehen; ſo muß ſtets eine von ihnen der Reſultirenden der übrigen gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Zwei ſolche Kräfte ſtehen daher nur dann mit einander im Gleichgewichte, wenn eine der anderen gleich und gerade entgegengeſetzt iſt; bei drei ſolchen Kräften muß die eine der Reſultirenden der zwei anderen gleichen und ihr gerade entgegengeſetzt ſeyn.

92. Der Satz 87 läßt ſich auch auf die Zuſammenſetzung von Kräften anwenden, die verſchiedene Angriffspuncte haben, wenn dieſe nur unveränderlich mit einander verbunden ſind. Es ſtellen A und B (Fig. 18) die Angriffspuncte der Kräfte P und Q vor, welche durch die divergirenden Linien AC und BD gegeben ſind. Man verlängere ſie, bis ſie ſich in E ſchneiden, verſetze ihren gemeinſchaftlichen Angriffspunct dahin, mache $EC' = AC$, $ED' = BD$, conſtruire das Parallelogramm $EC'FD'$; ſo iſt EF die Reſultirende von P und Q, die verlängert die AB in G ſchneidet. Man hat wegen $EC' : ED' = P : Q$ auch

$$P : Q = \sin FED' : \sin FEC.$$

Zieht man von G die auf EC und ED Senkrechten GH und GK; ſo iſt

$$\sin FED' = \frac{GK}{GE}, \quad \sin FEC = \frac{GH}{GE}, \text{ mithin}$$

$$P : Q = \frac{GK}{GE} : \frac{GH}{GE} = GK : GH.$$

Dieſe Proportion gilt auch für jeden anderen Punct L in der Richtung der Reſultirenden; denn zieht man von L auf EC und ED die Senkrechten LM und LN; ſo iſt $LN : LM = GK : GH$,

mithin auch $P : Q = LN : LM$. Man kann daher ſagen: Die Kräfte verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten, welche von irgend einem Puncte der Reſultirenden auf die Richtungen der Kräfte gezogen werden.

93. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen wirkende Kräfte, A und B (Fig. 19) ihre Angriffspuncte, die in der Geraden AB liegen, AC und BD ihre Richtungen und Größen; ſo kann man ohne Änderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengeſetzte Kräfte, deren Richtungen in die Linie AB fallen, anbringen. Sind AE und BF dieſe Kräfte, ſo ſetze man AE mit AC, BF mit BD zuſammen und finde ihre Reſultirenden AG und BH, indem man die Parallelogramme $AEGC$ und $BFHD$ conſtruirt. Verlängert man dieſe Reſultirenden, bis ſie ſich in K ſchneiden; ſo kann K den gemeinſchaftlichen Angriffspunct der Kräfte AC, AE und BF, BD vorſtellen. Nimmt man nun $KL = AG$, $KM = BH$ und zieht Kx parallel mit AC, yKz parallel mit AB; ſo kann man KL in die Kräfte $KO = AE$ und $KN = AC$ zerlegen. Ähnliches iſt mit KM geſtattet, und man bekommt $KS = BF$ und $KR = BD$. Da aber KO und KS ſich als gleiche und entgegengeſetzte Kräfte aufheben, ſo bleibt als Reſultirende $KN + KR = P + Q$. Sie iſt daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte und wirkt mit ihnen parallel.

Zur Beſtimmung ihrer Richtung hat man

$AE : EG = AT : TK$, weil $\triangle\, AEG \backsim \triangle\, ATK$
$BF : FH = BT : TK$, weil $\triangle\, BFH \backsim \triangle\, BTK$;
mithin $EG : FH = BT : AT$, d. i. $P : Q = BT : AT$.

Die Reſultirende theilt daher die gegenſeitige Entfernung der Angriffspuncte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältniſſe ſtehen. Da die Beſtimmung des Punctes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit AB machen; ſo muß er bei jeder Lage der AB derſelbe bleiben, mithin auch, wenn ſich P und Q um ihre Angriffspuncte drehen. Deshalb heißt der Punct T der Mittelpunct der parallelen Kräfte.

Es iſt für ſich klar, daß man durch ein dem vorigen ähnliches Verfahren von mehreren parallelen Kräften die Reſultirende finden, ja auch jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler und gleicher Kräfte auflöſen könne.

94. Wirken die Kräfte P und Q nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt ihre Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede, ſchneidet aber die Entfernung der Kräfte nach demſelben Verhältniſſe, wie 93 geſagt wurde. Es ſtellen (Fig. 20) AB und CD die Richtungen der Kräfte P und Q vor, A und C ihre Angriffspuncte, und es werde vorausgeſetzt, daß $P < Q$. Man kann ſich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine Ab der P gleich und entgegengeſetzt iſt, während die andere, die R heißen mag und der Größe und Lage nach unbekannt iſt, in E angebracht und durch EF ausgedrückt werden kann. Da ſich Ab und P aufheben, ſo bleibt nur $EF = R$ übrig, es iſt daher R die Reſultirende, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$.

Da $P : R = CE : AC$ (93) und daher $P : P + R = CE : CE + AC$, mithin $P : Q = CE : AE$ iſt; ſo gilt auch hier das obige Geſetz der Lage der Reſultirenden. Auch da iſt E unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen AC, mithin wieder ein Mittelpunct der Kräfte.

Wenn $P = Q$, ſo kann die Reſultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der anderen haben, weil zu beiden kein Grund vorhanden iſt; es kann daher keine Reſultirende geben. Dieſes zeigt auch obige Formel; denn es wird

$$P : o = CE : AC, \text{ d. i. } CE = \frac{P.AC}{o} = \infty.$$

95. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Puncte auf die Richtung dieſer Kraft gezogen worden, heißt ihr Moment in Beziehung auf dieſen Punct. Liegt der Punct, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Reſultirenden zweier Kräfte, ſo ſind ihre Momente einander gleich. Denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel ſind, wie Fig. 18, ſie mögen nun einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben oder nicht, iſt immer

$$P \,.\, GH = Q \,.\, GK \ (92).$$

Sind die Kräfte parallel, wie 93 angenommen wurde, ſo gilt für ſie dasſelbe Geſetz. Denn es ſeyen P und Q zwei ſolche Kräfte, A und B (Fig. 21) ihre Angriffspuncte, AC und BD ihre Größen, EF die Richtung und Lage der Reſultirenden, welche AB in G ſchneidet. Iſt nun H ein Punct, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, ſo ziehe man HI, HK auf AC und BD ſenkrecht, ferner LM durch H mit AB parallel, und man hat:

$$P : Q = BG : AG = HM : HL$$

und wegen $\triangle LHI \backsim \triangle KHM$

$$HM : HL = HK : HI,$$ mithin

$$P : Q = HK : HI$$ oder

$$P . HI = Q . HK.$$

96. Man kann dieſen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein Punct, für den die Momente der Kräfte gleich ſind, in der Richtung ihrer Reſultirenden liegen muß. Es ſeyen P und Q zwei Kräfte (Fig. 22), A und B ihre Angriffspuncte, AC und BD ihre Richtungen, und es werde vorausgeſetzt, daß für den Punct E, wovon auf AC und BD die Senkrechten EF und EG gezogen ſind, $P.EF = Q.EG$ ſey. Soll die Reſultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, ſo gehe ſie durch H. Sind nun P und Q nicht mit einander parallel, ſo verlängere man AC und BD, bis ſie ſich in K ſchneiden, ziehe EK und HK, und man hat aus $P.EF = Q.EG$ die Gleichung $P.\frac{EF}{EK} = Q.\frac{EG}{EK}$, das iſt $P . \sin FKE = Q . \sin GKE$ oder $P : Q = \sin GKE : \sin FKE$. Weil aber HK die Richtung der Reſultirenden bezeichnet, ſo hat man auch $P . \sin FKH = Q . \sin GKH$, oder $P : Q = \sin GKH : \sin FKH$ und mithin $\sin GKE : \sin FKE = \sin GKH : \sin FKH$, welches abſurd iſt. Sind die Richtungen von P und Q mit einander parallel, ſo nehme man wie in 93 zwei gleiche und einander entgegengeſetzte Kräfte zu Hilfe, die mit P und Q zwei convergirende Reſultirende geben, ohne zu ſtören, und verfahre dann wie vorhin, und man wird auf gleiche Weiſe zur Einſicht der Wahrheit des zu beweiſenden Satzes gelangen.

97. Soll ein Syſtem von Kräften, die zwar verſchiedene, aber unveränderlich mit einander verbundene Angriffspuncte haben, im Gleichgewichte ſtehen; ſo muß eine der Kräfte der Reſultirenden der übrigen gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Iſt ein Punct dieſes Syſtems feſt, ſo muß durch dieſen die Reſultirende aller Kräfte gehen; ſtützt es ſich auf eine ebene oder gekrümmte Fläche, längs welcher es hingleiten kann, ſo muß die Reſultirende auf dieſer Fläche ſenkrecht ſtehen und falls ſich das Syſtem und dieſe Fläche nur an einem Puncte berühren, durch dieſen Punct gehen; berühren ſie ſich in zwei Puncten, ſo muß die Reſultirende in die gerade Linie fallen, welche zwiſchen dieſen zwei Puncten gezogen wird; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer gera-

den Linie liegenden Puncten ein, ſo darf die Reſultirende die Fläche nicht außerhalb des durch die Berührungspuncte bezeichneten Polygons treffen. Es geht aus der Natur der Sache hervor, daß unter dieſen Bedingungen die Reſultirende der Kräfte durch den Widerſtand aufgehoben werde, in jedem anderen Falle aber eine fortſchreitende oder drehende Bewegung eintreten müſſe.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper.

98. Unter allen Naturkräften ſpielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deshalb ſollen auch ihre Geſetze zuerſt aus den allgemeinen Geſetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört dieſe Kraft in die Klaſſe der anziehenden Kräfte, und iſt jedem materiellen Theilchen eigen (31). Aus Beobachtungen an Himmelskörpern hat man abſtrahirt, daß dieſe Kraft von der materiellen Verſchiedenheit der Körper ganz unabhängig iſt und allein im geraden Verhältniſſe mit der Maſſe des anziehenden Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung der anziehenden und angezogenen Maſſe zunimmt. Iſt P die Kraft, welche die Maſſe M auf einen materiellen Punct in der Entfernung D ausübt, p diejenige, womit die Maſſe m in die Entfernung d wirkt; ſo hat man $P:p = \frac{M}{D^2} : \frac{m}{d^2}$. Setzt man $m = 1$, $d = 1$; ſo iſt p die Kraft, womit die Maſſe $= 1$ in die Entfernung $= 1$ wirkt, und man hat $P = p \cdot \frac{M}{D^2}$. In dieſer Formel kann M offenbar nur eine Maſſe von ſo geringer Ausdehnung bedeuten, daß es gleichgiltig iſt, von welchem ihrer Puncte man die Entfernung D mißt; ſie kann alſo nur an und für ſich ein Elementartheilchen vorſtellen, wenn das Reſultat der Rechnung, nach dieſem Ausdrucke, ganz ſcharf ſeyn ſoll. Hat daher die anziehende Maſſe eine angebbare Ausdehnung, ſo muß man für jeden Punct derſelben eine ſolche Gleichung aufſtellen, die Kraft, welche von jedem Puncte ausgeht, finden und aus allen dieſen Kräften die Reſultirende berechnen.

99. Wir wollen dieſes auf die Erde anwenden und durch

AB (Fig. 23) einen Querſchnitt derſelben vorſtellen, welcher durch den außer ihr liegenden, angezogenen Punct *a* geht. Jedes innerhalb *AB* liegende Theilchen *m*, *m'*, *m''* ſucht den Punct *a* an ſich zu ziehen nach den Richtungen *am*, *am'* *am''* ꝛc. und mit der Kraft $p \cdot \frac{m}{am^2}$, $p \cdot \frac{m'}{am'^2}$, $p \cdot \frac{m''}{am''^2}$ ꝛc. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte gibt die Anziehungskraft der ganzen in dieſem Querſchnitte der Erde liegenden Maſſe an. Dasſelbe wird mit den Elementartheilen der Erde der Fall ſeyn, welche in einem anderen durch *a* gehenden Querſchnitte der Erde liegen, und die Reſultirende aller dieſer reſultirenden Kräfte gibt die geſammte Anziehung, welche die Erde auf *a* ausübt. Die Richtung dieſer Kraft muß offenbar in die Linie fallen, welche von allen Seiten ſymmetriſch von der Maſſe der Erde umgeben iſt. Hat daher die Erde die Geſtalt einer Kugel, ſo iſt jeder Querſchnitt, wie *AB*, ein Kreis, und wenn ſie durchaus oder doch in gleichen Entfernungen vom Centrum gleich dicht iſt, ſo iſt die von *a* nach ihrem Centrum *C* gezogene gerade Linie von der genannten Art und zeigt daher die Richtung der reſultirenden Anziehung an. Man kann überdies noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Vorausſetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Maſſe, welche Vorausſetzungen von der Wahrheit nicht ſtark abweichen und in den meiſten Fällen hinreichend genaue Reſultate gewähren, ſo erfolge, als wäre ihre ganze Maſſe in ihrem Mittelpuncte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punct *a* gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p \cdot \frac{M}{D^2}$ bezeichnet wird, wo *p* und *D* die vorher angenommene Bedeutung haben, *M* aber die Maſſe der Erde bezeichnet. Was mit dem Punct *a* erfolgt, geſchieht auch mit jedem anderen nach Maßgabe ſeiner Entfernung von dem Erdmittelpuncte. Betrachtet man alſo die Wirkung der Erde auf einen Körper d. h. auf ein Aggregat von Puncten, ſo kann man ſich vorſtellen, als würde jeder derſelben nach ihrem Centrum hingezogen. Die Richtungen, nach welchen dieſe Puncte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Mittelpuncte hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmeſſers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, alle dieſe Kräfte wirken nach parallelen Richtungen, und kann jeden ſchweren Körper als ein

Syſtem von Angriffspuncten parallel wirkender Kräfte betrachten. Dieſe Kräfte ſind nur in ſo ferne für alle Puncte gleich groß, als dieſe eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieſes iſt bei keinem Körper ſtreng genommen der Fall. Für die oberen Puncte iſt dieſe Entfernung ſtets größer als für die unteren, ja ſelbſt für die neben einander in horizontaler Richtung liegenden iſt ſie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten und erlaubt, alle Puncte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Mittelpuncte derſelben entfernt anzunehmen und ſich demnach vorzuſtellen, jeder Punct eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte an einem Körper ſtellt deſſen Gewicht vor, der Mittelpunct derſelben (93) heißt ſein Schwerpunct. Hieraus iſt leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich ſchwer ſind und daß die weiter davon entfernten leichter ſind als die näheren. Befindet ſich ein Körper innerhalb der Erde, ſo wirken einige Theile derſelben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgeſtellte Geſetz der Schwere geändert und es wächſt dieſelbe nicht mehr im verkehrten quadratiſchen, ſondern im verkehrten einfachen Verhältniſſe der Entfernung vom Mittelpuncte. Eigentlich ſollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieſelben als das Reſultat einer gegenſeitigen Anziehung zwiſchen der Erde und den Körpern auf ihr anſehen; allein auch dieſes erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Maſſe, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechſelſeitigkeit der Anziehung ganz abſehen.

100. Jeder Körper, deſſen Theile unveränderlich mit einander verbunden ſind, aber auch nur ein ſolcher, hat einen Schwerpunct; denn nur bei Kräften mit unveränderlich verbundenen Angriffspuncten gibt es einen Mittelpunct. Daher kann man nur bei feſten Körpern von einem Schwerpuncte ſprechen, flüſſige haben nur in ſo ferne einen, als ſie ſich in Gefäßen befinden und als feſte Maſſen betrachtet werden können. Man kann ſich vorſtellen, daß in ihm das ganze Gewicht des Körpers vereinigt ſey. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, welche einen Mittelpunct der Figur haben, muß der Schwerpunct in dieſem liegen, bei ungleichförmig dichten hingegen

mehr gegen die dichteren Theile zu; bei manchen Körpern, z. B. bei Ringen, liegt er ganz außerhalb der Maſſe.

101. Man beſtimmt den Schwerpunct durch Verſuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegſamen Faden, ſo liegt ſein Schwerpunct offenbar in deſſen Verlängerung. Wird ein Körper hinter einander an zwei verſchiedenen, einander nicht gerade entgegengeſetzten Stellen an einem Faden befeſtiget aufgehängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; ſo gibt der Durchſchnittspunct dieſer beiden Richtungen einen Punct der verticalen Linie, in welchem der Schwerpunct liegt, und die Kenntniß dieſes Punctes genügt in den meiſten practiſchen Fällen. Auf dieſe Weiſe wird meiſtens der Schwerpunct beſtimmt, man zieht ſie oft ſogar der Rechnung vor, weil dieſe eine Gleichheit der Dichte an Körpern vorausſetzt, welche in der Erfahrung ſelten Statt findet, und auch Kenntniſſe der Integralrechnung fordert. Indeß gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunct eines Dreiecks iſt eigentlich der aller ſchweren in ihm enthaltenen Puncte. Jeder Punct liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreiecks parallel gezogen iſt, und alle in einer ſolchen Linie befindlichen Puncte haben ihren Schwerpunct in der Mitte dieſer Linie. Alle Halbirungspuncte der mit einer Dreieckſeite parallelen Linien liegen wieder für ſich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreieck ABC (Fig. 24) AD und BE, ſo daß $BD = DC$ und $AE = EC$; ſo muß der Schwerpunct des Dreiecks ſowohl in AD als in BE, mithin in ihrem Durchſchnittspuncte F liegen.

Zur näheren Beſtimmung dieſes Punctes ziehe man ED, und man hat wegen der Ähnlichkeit des Dreieckes AFB mit EFD und ECD mit ACB

$$AF : FD = AB : ED$$
$$AB : ED = AC : EC = 2 : 1, \text{ mithin}$$
$$AF : FD = 2 : 1 \text{ oder}$$
$$AF : AD = 2 : 3, \text{ d. i.}$$
$$AF = \tfrac{2}{3} AD.$$

Auf ähnliche Weiſe findet man den Schwerpunct einer dreiſeitigen Pyramide. Durch jeden Punct derſelben läßt ſich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel iſt und letztere in einem Dreiecke ſchneidet. Der Schwerpunct eines jeden dieſer Dreiecke läßt ſich nach obiger Methode finden, und die Schwerpuncte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Iſt daher in der Pyramide (Fig. 25) $AE = EC$ und $FB = \tfrac{2}{3} EB$, ſo liegt der Schwerpunct der ganzen Pyramide in DF.

Aus demſelben Grunde liegt der Schwerpunct der Pyramide in BG, wenn $DG = \frac{1}{3} DE$ iſt, daher im Durchſchnitte H beider Linien.

Man ziehe GF, ſo hat man, wegen $\triangle GHF \backsim \triangle DHB$ und $\triangle EGF \backsim \triangle EDB$

$$DH : HF = DB : GF$$
$$DB : GF = DE : EG = 3 : 1, \text{ mithin}$$
$$DH : HF = 3 : 1 \text{ und}$$
$$DH : DF = 3 : 4 \text{ oder } DH = \tfrac{3}{4} DF.$$

102. Hängen die Theile eines Körpers ſo zuſammen, daß ſie ſich durch ihr Gewicht nicht von einander trennen, wie dieſes bei den feſten Körpern größten Theils der Fall iſt; ſo braucht man nur ſeinen Schwerpunct, den angegebenen Geſetzen gemäß, zu unterſtützen, um ſein Fallen zu verhindern. Hierauf beruhen die ſchiefen Thürme zu Piſa und Bologna, das Balanciren, die Haltung unſers Körpers beim Gehen, Sitzen, Aufſtehen, Laſttragen, die Künſte des chineſiſchen Burzelmannes, die Rolllampe u. ſ. w. Daß man den Schwerpunct eines Körpers auf zweierlei Art unterſtützen kann, nämlich, indem man ihn aufhängt oder auf eine Unterlage ſtellt, iſt bekannt.

103. Nicht jeder Körper, der durch Unterſtützung ſeines Schwerpunctes gegen das Fallen geſchützt iſt, hat bei jeder Art der Unterſtützung und unter allen Umſtänden einen gleich ſichern Stand. Iſt die Lage eines Körpers ſo beſchaffen, daß ſein Schwerpunct tiefer liegt, als bei jeder anderen, in die er durch geringe Verrückung verſetzt werden kann; ſo wird er ſelbſt dann, wenn ihn eine Kraft bis auf eine gewiſſe Größe aus dieſer Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man ſagt, er ſey im ſtabilen Gleichgewichte. Hat ſein Schwerpunct einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt; ſo kehrt er in dieſe ſeine Lage nicht mehr zurück, ſobald man ihn durch eine auch noch ſo kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er ſey im labilen Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile ſeiner Maſſe unterſtützt iſt, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat ſtets ein ſtabiles Gleichgewicht; ein von unten an einem Punct unterſtützter Körper kann in ſtabilem und labilem Gleichgewichte ſeyn. Man denke ſich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieſes ſo auf einem Tiſche, daß ſeine größere Axe horizontal iſt, ſo hat es eine ſtabile, wenn aber dieſe Axe vertical ſteht, eine labile Lage. Ein in einer Ebene von unten unterſtützter Körper iſt ſtets in ſtabilem Gleichgewichte

oder hat **Stabilität**. Bringt man einen ſtabilen Körper mehr und mehr aus ſeiner Lage, ſo gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil iſt; durch fortgeſetztes Neigen kommt er wieder in eine ſtabile Lage, und ſo folgt ſtets auf einen ſtabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewicht ſteht, in jeder Zwiſchenlage muß er aber fallen. Man kann ſich dieſes leicht durch einen Würfel verſinnlichen. Um einen ſolchen Körper aus einer ſtabilen Lage in die nächſtfolgende labile zu verſetzen, braucht man eine gewiſſe Kraft, welche die **Größe ſeiner Stabilität** angibt. Um dieſe Kraft zu beſtimmen, ſey $ABCD$ (Fig. 26) ein Körper, der auf der Horizontalen EF ruht und ſeinen Schwerpunct in G hat. Das Gewicht dieſes Körpers ſey P, die Kraft, welche ihn um die Kante D zu drehen ſucht, heiße Q, und ihre Richtung, die horizontal angenommen wird, werde durch HG vorgeſtellt. Die Reſultirende dieſer zwei Kräfte darf für den Fall des Gleichgewichtes nicht über die Baſis CD hinausfallen und es wird die Kraft P der Stabilität gleich ſeyn, wenn die Reſultirende von P und Q durch D geht. Zieht man von D auf die verlängerte HG die Verticale DI und läßt auch von G die Verticale GK herab; ſo ſind $P.DK$ und $Q.DI = Q.KG$ die Momente der Kräfte in Beziehung auf einen Punct der Kante D, und man hat für dieſen Punct

$$P.DK = Q.KG \text{ oder } Q = P.\frac{DK}{KG},$$

d. i. die Stabilität eines Körpers iſt deſto größer, je größer ſein Gewicht iſt, je tiefer ſein Schwerpunct liegt und je weiter er von der Kante entfernt iſt, um die er gedreht wird. Nach dieſem Geſetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belaſteter Wägen, ſelbſt der mehr oder weniger feſte Stand eines Menſchen beurtheilt.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen.

104. **Maſchine** heißt jede Vorrichtung, mittelſt welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punct wirkt. Gewöhnlich iſt damit auch eine Änderung in der Größe der Wirkſamkeit der Kräfte verbunden. Man bemerkt an jeder Maſchine eine

Kraft, welche etwas bewegt oder zu bewegen ſucht, und dasjenige, welches bewegt oder im Gleichgewichte erhalten wird. Jene heißt hier vorzugsweiſe Kraft, dieſes Laſt. Eine Maſchine, wovon kein Beſtandtheil ſelbſt wieder eine Maſchine iſt, heißt einfach, widrigenfalls zuſammengeſetzt. Einfache Maſchinen ſind: Der Hebel, das Wellrad, die Rolle, die geneigte Ebene, die Schraube und der Keil; zu dieſen zählen einige noch die Seilmaſchine.

105. Ein Hebel iſt eine unbiegſame Stange oder Linie *ACB* (Fig. 27 *a* und *b*), die um einen Punct *C* (Unterſtützungspunct) beweglich iſt, außer welchem die Kraft *P* und die Laſt *Q* angebracht ſind. *AC* und *BC* heißen die Hebelarme. Iſt dieſe Stange ſchwerlos, ſo heißt der Hebel ein mathematiſcher, iſt ſie ſchwer, ein phyſiſcher Hebel; liegen *A*, *C*, *B* in einer geraden Linie, ſo iſt der Hebel ein geradliniger, ſonſt ein Winkelhebel. Liegt der Unterſtützungspunct zwiſchen den Angriffspuncten der Kraft und Laſt, ſo heißt der Hebel zweiarmig, widrigenfalls einarmig.

106. Iſt *AB* ein mathematiſcher, zweiarmiger Hebel, er mag nun ein geradliniger oder ein Winkelhebel ſeyn; ſo ſtehen die Kräfte *P* und *Q* im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten *CD* und *CE*, welche vom Unterſtützungspuncte auf die Richtungen der Kräfte gezogen ſind, oder wenn die Momente der Kraft und Laſt in Beziehung auf den Unterſtützungspunct einander gleich ſind; denn bei dieſem Verhältniſſe der Kräfte zu einander geht die Reſultirende von *P* und *Q* durch den Unterſtützungspunct *C* (97), und es kann keine Bewegung erfolgen.

Man kann dieſen Satz auch umkehren und ſagen: Sobald am Hebel *AB* Gleichgewicht herrſcht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird dieſes offenbar nur dann ſeyn können, wenn die Reſultirende der Kräfte *P* und *Q* durch den Unterſtützungspunct geht; dieſes ereignet ſich aber nur, wenn

$P \,.\, CD = Q \,.\, CE$ oder wenn

$P : Q = CE : CD$ iſt.

Wirken die Kräfte *P* und *Q* parallel auf einen geradlinigen Hebel; ſo ſtehen ſie im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt wie die Hebelarme verhalten.

107. Ein zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel *ACB*

(Fig. 28) kann ohne Störung des Gleichgewichtes in einen einarmigen verwandelt werden, wenn man von AC ein Stück $CE = CB$ abſchneidet, Q von B nach E überträgt und ihr eine entgegengeſetzte, aber mit der vorigen parallele Richtung EF gibt. Denn man denke ſich nun in B und E zwei Kräfte $q = Q$ und $q' = Q$ angebracht, nach den Richtungen BK und EF, die der Richtung Q parallel, aber entgegengeſetzt ſind; ſo wird dadurch das Gleichgewicht nicht geſtört, aber Q und q heben ſich auf; es müſſen daher auch P und q' im Gleichgewichte bleiben.

Wenn im zweiarmigen Hebel zwiſchen P und Q Gleichgewicht herrſcht, ſo iſt $P : Q = CH : CG$, falls CG und CH auf AD und BK ſenkrecht ſtehen. Verlängert man CH gegen EF, ſo ſteht ſie auf EF ſenkrecht und es iſt $CH = CI$, $Q = q'$, mithin wird aus obiger Proportion $P : q' = CI : CG$, d. i. das Geſetz, das früher für den zweiarmigen Hebel bewieſen wurde, gilt auch für den einarmigen.

108. Der phyſiſche Hebel kann in einen mathematiſchen verwandelt werden, wenn man ſein ganzes Gewicht in ſeinem Schwerpuncte vereint annimmt und ihn dann für ſchwerlos anſieht. Für den Stand des Gleichgewichts muß das Moment dieſes Gewichtes in Beziehung auf den Unterſtützungspunct zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunct auf die Seite der Kraft fällt und dieſe abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunct auf die Seite der Laſt fällt und dieſe aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Laſt addirt werden.

109. Der Hebel iſt ſchon deshalb ſehr wichtig, weil er in ſehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe uud Künſte Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheiſen, Schaufeln, Zangen, Scheeren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. ſ. w.; für den Phyſiker wird er es nebſt anderen beſonders dadurch, daß darauf eines ſeiner wichtigſten Inſtrumente, die Wage beruht. Man unterſcheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die gemeine Wage und die Schnellwage. Für die Phyſik iſt die erſtere beſonders wichtig. Die gemeine Wage (Fig. 29) beſteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Scheere, der Zunge und aus den Schalen, die am Balken hängen. An ihr ſollen ſich zwei gleiche, übrigens beliebige Gewichte das Gleichgewicht halten, wenn jedes derſelben auf eine Schale gelegt wird. Dazu gehört, 1) daß

der Wagebalken mit den Schalen für ſich im Gleichgewichte ſtehe, welches der Fall iſt, wenn beide Arme im unbelaſteten Zuſtande gleich ſchwer ſind und auch ihre Schwerpuncte eine gleiche Entfernung von der Axe haben, 2) daß die beiden Arme gleich lang ſind und daher auch gleiche Laſten ein gleiches Moment in Bezug auf die Axe haben. — Dieſe Bedingungen ſind aber in der Ausübung völlig unerreichbar, ja ſelbſt, wenn ſie auch einmal erreicht ſind, ſo werden ſie doch durch die kleinſte ungleiche Erwärmung wieder aufgehoben. Demnach ſind die beſten Wagen, genau genommen, doch noch falſche Wagen, aber die Fehler ſind ſo klein, daß man ſie in vielen Fällen ganz vernachläſſigen kann. Glücklicher Weiſe kennt man ein Verfahren im Abwägen, mittelſt deſſen man auch mit einer falſchen Wage das Gewicht eines Körpers richtig findet und welches daher bei ſubtilen Unterſuchungen, wenn man auch mit den beſten Wagen zu thun hat, angewendet werden muß. Dieſes Verfahren beſteht darin, daß man den abzuwägenden Körper A in eine Schale, und ſo viel Tara in die andere legt, als nöthig iſt, um das Gleichgewicht herzuſtellen, hierauf A herausnimmt und durch Gewichte P erſetzt. Hier muß $P = A$ ſeyn, wenn zwiſchen den Zapfen und Pfannen keine Reibung Statt findet. Da aber dieſe Reibung immer vorhanden iſt, ſo muß man ihren Einfluß dadurch unſchädlich machen, daß man denſelben bei beiden Abwägungen von derſelben Größe zu erhalten ſucht. Dieſes wird dadurch bewirkt, daß man den Wagebalken, ſobald A mit der Tara ins Gleichgewicht gekommen iſt, in der Lage ſeiner Ruhe unterſtützt, erſt hierauf A wegnimmt, durch Gewichte erſetzt, denen nicht viel von A fehlt, und dann erſt den Balken frei läßt. Unter den oben angegebenen Bedingungen wird eine Wage zwar richtig ſeyn, aber doch noch nicht die zum bequemen Gebrauche nöthige Einrichtung haben. Dazu wird überdies noch erfordert, daß der Balken bei gleicher Belaſtung auf beiden Seiten in einer Lage in Ruhe komme, bei welcher die Verbindungslinie der beiden Aufhängungspuncte der Schalen eine horizontale und ſtabile Lage hat, und bei einer ungleichen Belaſtung deſto mehr von dieſer Lage abweiche (einen deſto größeren Ausſchlag gebe), je größer die Ungleichheit der Belaſtung iſt. Dazu wird erfordert, daß die genannte Verbindungslinie zwiſchen dem Schwerpunct und der Axe des Balkens durchgehe, erſterer unter der Axe ſich befinde und daß die geraden Linien, welche man von einem Aufhängepuncte der Schalen zum

anderen und vom Schwerpunct des Balkens zu ſeiner Drehungsaxe zieht, auf einander ſenkrecht ſtehen. Je näher der Schwerpunct an der Axe liegt, deſto größer wird bei einerlei Belaſtungsunterſchied der Neigungswinkel (Ausſchlagwinkel) des Balkens und deſto empfindlicher iſt daher die Wage.

Iſt c (Fig. 30) die Drehungsaxe des Balkens, d ſein Schwerpunct, a und b Aufhängungspuncte der Schalen; ſo wird erfordert, daß d unter c liege und cd von ab ſenkrecht geſchnitten werde. Es ſeyen P und Q die Belaſtungen der Schalen und man denke ſich $P = Q$. Unter dieſer Vorausſetzung wird die Reſultirende beider Kräfte durch c gehen und dadurch aufgehoben werden. Damit nun bei einer horizontalen Lage der Linie ab der Balken ſtabil ruhe, muß der Schwerpunct unter c in einer verticalen Linie liegen und ab auf cd ſenkrecht ſeyn. Iſt aber $P > Q$, ſo ſetze man $P = Q + R$, denke ſich beiderſeits die 2 gleichen Kräfte Q weggenommen und es wird der Erfolg derſelbe ſeyn, als wenn nur R allein auf einer Schale ſich befände. Dieſe Kraft wird den Arm an ihrer Seite herabziehen und ihn ſo weit neigen, bis das Moment der Kraft R in Bezug auf die Axe c dem Momente des Gewichts des Balkens in Bezug auf denſelben Punct gleich iſt. Es iſt begreiflich, daß dieſe Neigung deſto größer ſeyn wird, je größer R und je kleiner cd iſt.

Man ſchätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theil der größten Belaſtung, den ſie noch anzuzeigen vermag. Eine gute Wage ſoll wenigſtens $\frac{1}{60000}$ dieſer Laſt anzeigen. Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belaſtung von 10 Pf. noch 0.006 Gr., alſo den 12millionſten Theil der Belaſtung an. Fortins Wagen zeigen bei 4 Pf. Belaſtung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Laſt. Die Wagen, welche Florenz in Wien verfertigt, geben bei einer Belaſtung von $4\frac{1}{2}$ Pf. noch mit $\frac{1}{8}$ Richtpfennig, alſo mit $\frac{1}{4718592}$ einen ſehr deutlichen Ausſchlag. (Mehr über Wagen im Suppl. S. 46—59.)

110. Die Schnellwage (Fig. 31) hat einen Balken mit ungleichen Armen. An einem beſtimmten Puncte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht und am längern ein beſtimmtes Gewicht P (der Laufer) ſo lange hin oder hergeſchoben, bis es mit A im Gleichgewichte ſteht. Hält der unbelaſtete Balken in der horizontalen Lage aus, in welchem Falle die Wage eine mathematiſche Schnellwage heißt, und iſt die Entfernung des Körpers von der Axe $= a$, die des Laufers $= b$; ſo iſt offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P.\frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann

daher *a* in den längeren Arm ſo oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilſtriche, die zwiſchen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von *A* beſtimmen. Bleibt aber der Balken unbelaſtet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d. h. iſt die Wage eine phyſiſche Schnellwage; ſo kann obige Gleichung nicht gelten und man beſtimmt die Puncte des längeren Armes, an welchen *P* mit einer gewiſſen Laſt im Gleichgewichte ſteht, beſſer durch die Erfahrung.

111. Das Wellrad ſtellt Fig. 32 vor. Es iſt ein um ſeine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, deſſen Axe mit der des Cylinders zuſammenfällt, und das auf ihr ſenkrecht ſteht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Laſt am Umfange des Cylinders. Denkt man ſich die Laſt in die Ebene des Rades verſetzt, ſo wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden ſind, und dann ſtellt Fig. 33 einen Querſchnitt dieſer Maſchine vor, aus dem erſichtlich wird, daß ſie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, deſſen Ruhepunct *C* in der Axe des Rades liegt, während in *A* die Laſt *Q*, in *B* die Kraft *P* wirkt. Man hat daher für den Zuſtand des Gleichgewichtes $P:Q=AC:BC$, d. i. die Kraft verhält ſich zur Laſt, wie der Halbmeſſer des Cylinders zum Halbmeſſer des Rades. Das Wellrad erſcheint im gemeinen Leben als Winde, Haſpel, Göpel, Zahnrad, Waſſerrad u. ſ. w.

112. Eine Rolle iſt eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne verſehene Scheibe. Iſt ſie blos um ihre Axe beweglich, ſo heißt ſie fix; läßt ſie ſich aber nicht blos um ihre Axe drehen, ſondern auch ſammt derſelben bewegen, ſo nennt man ſie beweglich. Es ſtelle Fig. 34 eine Rolle vor, *AB* ſey ein von einem abſolut biegſamen Stricke umfaßtes Bogenſtück, *C* ihr Mittelpunct, *P* und *P′* Kräfte, welche nach *AD* und *BE* wirken, ſo daß *AD* und *BE* Tangenten der Scheibe ſind. Denkt man ſich dieſe Linien verlängert, bis ſie ſich in *F* ſchneiden, hierauf den Angriffspunct beider Kräfte *P* und *P′* nach *F* verſetzt, ferner $Fa=P$, $Fb=P'$; ſo iſt *Fd* die Reſultirende von *P* und *P′*, wenn *Fadb* das Parallelogramm der Kräfte iſt. Iſt nun die Rolle fix, ſo werden *P* und *P′* im Gleichgewichte ſtehen, wenn *Fd* verlängert durch *C* geht. In dieſem Falle iſt aber $P.CA=P'.CB$, d. i. $P=P'$, oder in der fixen Rolle iſt im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Laſt.

Iſt die Rolle beweglich, ſo muß, wenn Gleichgewicht Statt

finden ſoll, der Reſultirenden Fd eine gleiche Kraft Q entgegen= wirken, die ebenfalls durch C geht. Man hat $P:Q = Fa:Fd$; aber $\triangle aFd \backsim \triangle ACB$, weil ihre Seiten auf einander ſenkrecht ſtehen; daher iſt auch

$$Fa:Fd = AC:AB, \text{ d. i. } P:Q = AC:AB.$$

Dieſes Verhältniß muß auch noch Statt finden, wenn man ſtatt P' einen Nagel anbringt, der P' erſetzt. Daher verhält ſich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Halbmeſſer der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird $P:Q = AC:2AC = 1:2$. So lange $AB > AC$, oder der umfaßte Bogen größer iſt als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; ſobald aber dieſer Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrſcht das Gegentheil.

113. Jede Ebene, die mit der horizontalen einen ſpitzigen Winkel macht, heißt **geneigt** oder **ſchief**. Iſt AC (Fig. 35) horizontal, AB vertical, ſo ſtellt ABC den verticalen Durchſchnitt einer geneigten Ebene vor, wovon AC die Baſis, AB die Höhe und BC die Länge heißt.

Befindet ſich auf BC ein Körper, deſſen Schwerpunct in G iſt und deſſen Gewicht Q heißt, ſo ſucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach GD wirkt, auf BC erhalten, ſo muß die Reſultirende von P und Q auf BC ſenkrecht ſtehen. Iſt daher GE die Richtung dieſer Reſultirenden, ſo wird für den Zuſtand des Gleichgewichtes ſeyn

$$P:Q = \sin EGz : \sin EGD.$$

Verlängert man GD, bis ſie BC in F ſchneidet, ſetzt den Winkel $BFD = b$, den Neigungswinkel $ACB = a$, und bedenkt, daß $EGz = BCA$, $EGD = 180° - EGF$; ſo iſt $\sin EGz = \sin a$, $\sin EGD = \cos b$, und daher

$$P:Q = \sin a : \cos b.$$

Es verhält ſich daher die Kraft zur Laſt, wie der Sinus des Neigungswinkels der ſchiefen Ebene zum Coſinus des Winkels, den die Kraft mit der Länge derſelben macht.

Wirkt P mit BC parallel, ſo iſt $b = o$ und $P:Q = \sin a:1 = AB:BC$, das iſt: Es verhält ſich die Kraft zur Laſt, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge.

Iſt P mit AC parallel, ſo wird $b = a$ und $P:Q = \sin a : \cos a = AB:AC$, d. h. es verhält ſich die Kraft zur Laſt, wie die Höhe der ſchiefen Ebene zu ihrer Baſis.

114. Zur Erörterung der Theorie der **Schraube** iſt es nöthig, ſie auf eine ſchiefe Ebene zu reduciren und zu dieſem Zwecke die Art, wie man ſich eine Schraube entſtanden denken kann, nebſt der Methode, auf eine Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entſtehung einer **Schraube** ſeine richtige Anſicht zu faſſen, ſey *AB* (Fig. 36) ein gerader Cylinder, deſſen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical ſtehen mag. Man denke ſich ein Rechteck *abdc*, deſſen Baſis *bd* dem Umfange, und deſſen Höhe *ab* der Höhe des Cylinders gleich iſt, theile *ab* in eine beliebige Anzahl gleicher Theile *ae*, *ef*, *fg*, *gh*, *hb*, ziehe durch die Theilungspuncte die mit *bd* Parallelen *ee'*, *ff'*, *gg'*, *hh'* und die Diagonalen *ec*, *fe'*, *gf'*, *hg'*, *bh'*. Wird nun das Rechteck *abdc* um den Cylinder gewickelt, ſo entſteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie *ec* bildet einen Schraubengang und *ae* den Abſtand der Schraubengänge. Der Cylinder *AB* heißt nun Schraubencylinder, und wenn ſich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine **Schraube**, wohl auch eine **Schraubenſpindel**; ſind aber die Schraubengänge an einer cylindriſchen Höhlung eines Körpers eingeſchnitten, ſo nennt man ihn **Schraubenmutter**.

Denkt man ſich eine Ebene *CD* (Fig. 37), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie *mn* berührt, die mit *ab* gleichlaufend iſt; ſo entſtehen durch Abwicklung der Schraubenlinie auf dieſer Ebene lauter gerade Linien, die mit *mn* denſelben Winkel machen, welchen die Diagonalen *ec*, *fe'* ꝛc. mit *ab* bilden, und jede dieſer Linien bildet die Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher auf einen Punct *o* der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in *CD* ein rechtwinkeliges Dreieck *pqr* beſchreibt, deſſen mit *mn* parallele Höhe *pq* dem Abſtande zweier Schraubengänge, deſſen Baſis *qr* dem Umfange des Schraubencylinders gleich iſt, und deſſen Hypothenuſe *pr* durch den Punct *o* geht.

115. Es ſeyen Fig. 38 die Schraubengänge einer vertical ſtehenden Schraube, deren Axe *AB* iſt, und man ſuche das ſtatiſche Verhältniß zwiſchen der Laſt *Q* und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft *P*, in der Vorausſetzung, daß keine Reibung vorhanden ſey und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Puncte *a* berühre. Die Laſt *Q* wirkt in *a* vertical abwärts, und weil die Kraft *P* dasſelbe Moment in Bezie-

hung auf die Axe AB hat, ſie mag auf was immer für einen Punct am Umfange des Schraubencylinders wirken, ſo kann man ſie auch nach a verſetzt denken; es wirken daher beide Kräfte auf a, und die eine hat zu verhindern, daß der Punct a nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier blos um die Verhinderung des Anfangs der Bewegung zu thun iſt, ſo muß P nur verhindern, daß a nicht längs der Tangente bc, d. i. über die ſchiefe Gerade abwärts gehe. Da iſt aber (113) $P:Q=bd:dc$; mithin verhält ſich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Abſtand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders.

Iſt die Schraube mit mehreren Puncten a, b, c der Schraubenmutter in Berührung; ſo wird die ganze Laſt Q in eben ſo viele Theile q, q', q'' zertheilt, wovon q auf a, q' auf b, q'' auf c wirkt, und wo $q+q'+q''=Q$ iſt. Iſt p die Kraft, welche der q, p' diejenige, welche der q' das Gleichgewicht hält, u. ſ. f., ſo hat man

$$p : q = bd : dc$$
$$p' : q' = bd : dc$$
$$p'' : q'' = bd : dc, \text{ mithin}$$

$p+p'+p'' : q+q'+q'' = bd : dc$ oder wieder wie vorhin, $P : Q = bd : dc$.

116. Ein **Keil** iſt ein dreiſeitiges Prisma (Fig. 39), das mit ſeinen Seitenflächen, z. B. mit AD und ED zwiſchen zwei Körper hineingetrieben wird, um ſie zu trennen. Stellt ABC (Fig. 40) einen auf $AEFB$ (Fig. 39) ſenkrechten Durchſchnitt des Keils vor, auf deſſen Seite AC die Kraft P ſenkrecht wirket, während auf die Seiten AB und BC (Fig. 40) die Laſt Q ſo vertheilt iſt, daß davon auf AB der Theil q, und auf CB der Theil q' wirket; ſo ſey DE die Richtung der Kraft P, und man zerlege ſie in zwei Kräfte Dy und Dz, wovon jene auf AB, dieſe auf CB ſenkrecht ſteht. Iſt nun DE die Größe der Kraft P, ſo ſind DF und DG die Seitenkräfte, wenn $DFEG$ das Parallelogramm der Kräfte vorſtellt, und man hat

$$DE : DF : FE = P : q : q', \text{ aber}$$
$$\triangle DFE \backsim \triangle ABC, \text{ mithin}$$
$$DE : DF : FE = AC : AB : CB, \text{ oder}$$
$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

117. Eine **Seilmaſchine** iſt eine feſte Linie (ein Strick, eine Kette oder Schnur) ABC (Fig. 41), welche an einem Ende un-

veränderlich befeſtiget iſt, während am anderen A eine Kraft P nach BA und an einem dritten Puncte B eine Laſt Q nach BD wirket. Da ſich der Widerſtand am befeſtigten Ende als Kraft R betrachten läßt, ſo iſt leicht einzuſehen, daß man es hier mit dem Problem von drei Kräften zu thun hat, die einerlei Angriffspunct haben (91), und daß im Falle des Gleichgewichtes eine, z. B. R, der Reſultirenden der zwei anderen P und Q gleich und entgegengeſetzt ſeyn muß. Verlängert man daher BC über B hinaus, ſo iſt BE die Richtung der Reſultirenden von P und Q und man hat

$$P : Q = \sin EBD : \sin EBA;$$

weil aber $\sin EBD = \sin CBD$ und $\sin EBA = \sin CBA$ iſt; ſo erhält man als Bedingung des Gleichgewichtes der Kräfte an dieſer Maſchine

$$P : Q = \sin CBD : \sin CBA.$$

118. Aus dieſen einfachen Maſchinen beſteht die unendliche Anzahl zuſammengeſetzter Vorrichtungen, deren wir uns zu den mannigfaltigſten Zwecken bedienen. Die Zuſammenſetzung geſchieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maſchine mit der anderen, oder mittelſt der anderen. Als Beiſpiel der erſten Art kann der gemeine Flaſchenzug gelten, den Fig. 42 vorſtellt. Iſt daſelbſt die Kraft P am freien Strickende, die Laſt Q an der unteren Flaſche angebracht, ſo iſt es klar, daß alle Stricke gleich ſtark geſpannt ſeyn müſſen, wenn P mit Q im Gleichgewichte ſeyn ſoll, und daß daher bei n Stricken ſeyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zuſammengeſetzten Maſchinen der zweiten Art iſt die Laſt der erſten Beſtandmaſchine, an welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirket, die Kraft bei der zweiten; die Laſt an dieſer die Kraft an der dritten u. ſ. w. Heißt daher $a : b$ das Verhältniß der Kraft zur Laſt in der erſten Maſchine, wenn ſie im Gleichgewichte iſt, eben ſo $a' : b'$, $a'' : b''$, $a''' : b'''$ bei der zweiten, dritten und vierten, Q die Laſt bei der letzten, x die Laſt der erſten, x', x'', x''' die der zweiten, dritten, vierten; ſo wird

$$\begin{aligned} P : x &= a : b \\ x : x' &= a' : b' \\ x' : x'' &= a'' : b'' \\ x'' : Q &= a''' : b''', \text{ mithin} \end{aligned}$$

$$P : Q = a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b'''$$

Es iſt daher das Verhältniß der Kraft zur Laſt aus den einfachen Verhältniſſen der Beſtandmaſchinen zuſammengeſetzt.

Alle hier angeführten Geſetze des Gleichgewichtes ſind nur beſondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten genannt wird und ſo lautet: Wenn ein Syſtem von ſo viel Körpern oder Puncten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte ſteht, und man ertheilt dem Syſteme eine unendlich kleine Bewegung, vermög welcher jeder Punct des Syſtems einen unendlich kleinen Raum zurücklegt; ſo iſt die Summe aus den Producten jeder Kraft in den Raum, den ihr Angriffspunct nach der Richtung der Kraft beſchreibt, gleich Null, vorausgeſetzt, daß man die Räume, welche nach entgegengeſetzten Richtungen beſchrieben werden, durch + und − unterſcheidet.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander (Theorie der Cohärenz).

119. Es iſt bereits (22, 30) dargethan, daß jeder Körper aus ungemein kleinen Theilchen *(mollecules)* beſteht, die zwar einander ſehr nahe liegen, aber ſich doch nicht berühren und von mehreren Kräften beherrſcht werden. Eine derſelben iſt die ſchon erörterte Schwerkraft, eine von jeder materiellen Verſchiedenheit unabhängige, in unermeßliche Ferne nach einem beſtimmten Geſetze wirkende Anziehungskraft, die ſich blos nach der Menge der Maſſe richtet (98), eine andere, um die es ſich hier handelt, wirket theils anziehend, theils abſtoßend (39); der anziehende Theil gehört ohne Zweifel der Materie an, der abſtoßende wird von Vielen der Wärme zugeſchrieben. Das Verhältniß beider zu einander iſt nicht blos in verſchiedenen Körpern, ſondern auch in demſelben Körper unter verſchiedenen Umſtänden (23) verſchieden. Die Reſultirende dieſer beiden Kräfte heißt Mollecularkraft, und dieſe iſt es, welche den Aggregationszuſtand der Körper beſtimmt. Für feſte Körper, von denen hier die Rede ſeyn ſoll, wirket ſie anziehend (als Cohärenzkraft) und begründet die Stärke und Art des Zuſammenhanges der Theile, ſo wie die Geſtalt, welche das Ganze annimmt. Die Geſetze, nach denen ſie wirkt, laſſen ſich nur durch Erfahrung ausmitteln und dazu liefert das Folgende das Materiale.

A. Kryſtalliſation der Körper.

120. In der ganzen Natur iſt das Beſtreben der kleinſten Theile, ſich zu einem ſymmetriſch geformten Ganzen zu vereinigen, unverkennbar, und dieſem gemäß zeigen auch ſowohl die organiſchen als unorganiſchen Körper, wenn ſie ſich ungeſtört bilden konnten, eine auffallende Symmetrie ihres Baues; nur unterſcheiden ſich beide Naturreiche dadurch von einander, daß in erſterem die runden, in letzterem die eckigen Formen vorwalten. Die ſymmetriſch polyedriſchen Körper des Mineralreiches heißen Kryſtalle. Die Natur liefert uns unzählige Körper dieſer Art; an manchem erkennt man die Symmetrie ſeines Baues nur darum nicht, weil er ein Aggregat von ſehr kleinen, regelmäßig gebildeten Theilen oder ein Bruchſtück eines größeren Kryſtalls iſt. Nur ein Kryſtall iſt unter den unorganiſchen Körpern ein für ſich beſtehendes Ganzes, ein Individuum.

121. Soll ein Stoff die Kryſtallform annehmen, ſo iſt nothwendig, daß ſeine kleinſten Theile ihrer innern Kraft ungehindert folgen können. Dieſes findet aber nur dann in einem vollkommenen Grade Statt, wenn er flüſſig iſt. Darum muß man feſte Körper, die man kryſtalliſiren will, vorläufig durch ein Auflöſungsmittel oder durch Erwärmen tropfbar oder ausdehnſam machen. So werden zum Behufe der Kryſtallbildung Salze im Waſſer, Schwefel in Schwefelkohlenſtoff aufgelöſet, Metalle ꝛc. geſchmolzen, Benzoeſäure, Jod ꝛc. verflüchtiget. Um nun wieder den feſten aber kryſtalliſchen Zuſtand herzuſtellen, ſucht man die Theile des kryſtalliſirbaren Stoffes einander ſo nahe zu bringen, daß die Cohäſionskraft mit der nöthigen Stärke zu wirken anfängt. Dieſes bewirkt man: 1) durch bloßes langſames Abkühlen. Durch dieſes Mittel kryſtalliſiren geſchmolzener Schwefel, Metalle ꝛc. Bei Auflöſungen iſt es nur dann wirkſam, wenn das Auflöſungsmittel von dem kryſtalliſirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer. Eines der merkwürdigſten hieher gehörigen Beiſpiele führt Marx (Schweiggers J. 52. 351) vom eſſigſauren Natrum an. Wird dieſes in einem großen Platinlöffel über einer Weingeiſtlampe geſchmolzen und hierauf von der Lampe weggenommen, ſo trennt ſich plötzlich die Flüſſigkeit von den Wänden des Löffels, zieht ſich zuſammen und wird feſt. Sobald ſich aber die Oberfläche mit einer Haut überzogen hat, brechen aus dem Innern

Kryſtalle hervor und wachſen ſchnell aufwärts. 2) Durch Verflüchtigung des Auflöſungsmittels mittelſt der Wärme. Auf dieſe Weiſe kryſtalliſirt Kochſalz, Salpeter ꝛc. 3) Durch Zuſatz eines Stoffes, der das Auflöſungsmittel bindet oder auf andere Weiſe eine Zerſetzung bewirket. So bekommt man aus einer wäſſerigen Auflöſung des ſchwefelſauren Kupferoxydes durch Zuſatz von Weingeiſt Kryſtalle; auch die Ausſcheidung der Stoffe in Kryſtallform durch Electricität gehört hieher. 4) Durch ſtarkes Comprimiren der Flüſſigkeit. Auf dieſem Wege hat Perkins aus der flüſſigen Eſſigſäure ſchöne Kryſtalle erhalten. Welches von dieſen Mitteln immer gewählt werden mag oder muß, ſo darf es doch nie ſchnell wirken, weil ſonſt die auf einmal in zu großer Menge feſt werdenden Theile ſich gegenſeitig hindern, eine regelmäßige Form anzunehmen und das Ganze wohl ein Aggregat kleiner Kryſtalle iſt, dieſe aber zu einem ganz unſymmetriſchen Klumpen zuſammengewachſen ſind.

Da dieſe Mittel nicht auf jeden Stoff gleich ſtark oder gleich ſchnell wirken, ſo kann man ſich ihrer bedienen, um aus einer Miſchung mehrerer Stoffe einen oder den anderen auszuſcheiden. So trennt man das Digeſtivſalz vom Salpeter aus einer Löſung, worin beide enthalten ſind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung durch bloßes Abkühlen der Maſſe, weil erſteres ſpäter kryſtalliſirt als letzterer.

122. Die Bildung der Kryſtalle kann durch gewiſſe Umſtände ausnehmend erleichtert werden. Iſt eine Flüſſigkeit ſchon nahe daran, Kryſtalle zu liefern, ſo iſt dem Anſchießen derſelben oft ein ſchwacher Stoß ſehr förderlich. Es ſcheint, als wenn durch eine ſolche Erſchütterung die kleinſten Theile in den Stand geſetzt würden, ſich von Hinderniſſen los zu machen und der Cohärenzkraft zu folgen. Ein anderes Beförderungsmittel iſt die Berührung des kryſtalliſirbaren Stoffes mit einem feſten Körper oder auch nur mit der Luft. So gibt eine kryſtallrechte Lauge immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo ſie die Luft berührt, die erſten Kryſtalle; Hineinſtellen von Stäben, Schnüren ꝛc. beſchleunigt darum die Kryſtallbildung. Beſonders wirkſam iſt die Berührung der kryſtallrechten Flüſſigkeit mit einem Kryſtall derſelben Natur, wie man ſie beabſichtiget. Legt man in eine Kochſalzlöſung einen Salzkryſtall, ſo ſieht man ihn ſchnell wachſen, wenn man auch vorher in der Flüſſigkeit noch nichts von einer anfangenden Kryſtalliſation bemerken konnte. Nimmt man einen ſolchen Kryſtall heraus, bricht davon ein Stück ab und legt ihn wieder an ſeinen vorigen

Platz, ſo wird das abgeriſſene Stück wieder völlig erſetzt. Gibt man in eine Löſung von 3 Th. Glauberſalz und 2 Th. Salpeter in lauem Waſſer einen Salpeterkryſtall, ſo ſchießt blos Salpeter an, thut man aber dasſelbe mit einem Glauberſalzkryſtall, ſo erfolgt blos das Kryſtalliſiren des Glauberſalzes. Legt man in eine Auflöſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd und ſchwefelſaurem Zinkoxyd einen Eiſenvitriolkryſtall, ſo vergrößert ſich dieſer Kryſtall durch die Maſſe der Auflöſung, ohne Änderung ſeiner Geſtalt; legt man den vergrößerten Kryſtall wieder in ſeine Eiſenvitriollöſung, ſo vergrößert er ſich auf dieſelbe Weiſe in dieſer, und man kann durch Wiederholen dieſes Verfahrens einen Kryſtall erhalten, der aus abwechſelnden, parallelen Schichten von grünlichem Eiſenvitriol und ſchwefelſaurem Zinkkupferoxyd beſteht. Vielleicht gehört auch das von Brewſter erzählte merkwürdige Factum hieher, daß ein Tropfen von einer Flüſſigkeit, die in einem Schwerſpathkryſtall enthalten war, bald nachdem ſie herausgenommen wurde, ſelbſt zu einem Kryſtall erſtarrte, ohne daß man es einer Verdünſtung der Flüſſigkeit zuſchreiben konnte, ſo wie die Erfahrung Wackernagl's, der bemerkt hat, daß ſich Kryſtalle, die mit Firniß überzogen ſind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern, woraus er den Schluß ziehen will, die Cohärenzkraft wirke auf eine merkliche Entfernung. Das Effloresciren, vermög welchem ſich weit über der Oberfläche der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden feine Kryſtalle bilden, wie dieſes vorzüglich beim Salpeter bemerklich iſt, läßt ſich auch hieraus erklären.

Die ſchon gebildeten Kryſtalle laſſen ſich durch eigene Verfahrungsweiſen rein erhalten oder auch vergrößern. Beim Kryſtalliſiren des Schwefels oder der Metalle thut man gut, wenn man die obere, feſte Haut der geſtehenden Maſſe durchbricht und die darunter befindliche Flüſſigkeit abgießt, damit die ſchon gebildeten Kryſtalle nicht durch andere unkenntlich gemacht werden. Leblanc lehrt Salzkryſtalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu laſſen, den Reſt von den ſchon gebildeten Kryſtallen in eine flache Schale abzugießen und die Bildung neuer Kryſtalle darin abzuwarten. Von dieſen ſoll man die ſchönſten auswählen, ſie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch ſo, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings kryſtallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Kryſtall wenigſtens täglich einmal umlegen und dieſes Verfahren ſo oft wiederholen, als ſich die Lauge noch kryſtallrecht machen läßt, oder

bis die Kryſtalle groß genug ſind. Ein anderes Verfahren, aus kleinen Kryſtallen größere zu erhalten, beſteht darin, dieſe Kryſtalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo ſie einem Temperaturwechſel ausgeſetzt ſind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflöſungsvermögen als in der Kälte, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur etwas von den Kryſtallen aufgelöſet; aber weil die kleineren eine im Verhältniß zu ihrer Maſſe größere Oberfläche haben, als die größeren, ſo werden auch jene mehr verlieren als dieſe, während doch beim Sinken der Temperatur alle Kryſtalle nur gleichen Zuwachs erhalten. Daher werden nach und nach alle kleineren Kryſtalle verſchwinden und ſomit wenige, aber deſto größere zum Vorſchein kommen. (Zeitſch. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

123. Kryſtalle können durch ihre mathematiſchen und phyſikaliſchen Eigenſchaften ein Gegenſtand der Betrachtung werden. Zu erſteren gehört die Form und Structur, zu letzteren Härte, Glanz ꝛc. der Flächen, Kanten oder Ecken. Die Form des Kryſtalls heißt ſeine Kryſtallgeſtalt, die ſie begrenzenden Flächen heißen Kryſtallflächen. Die Geſtalt wird nach der Anzahl, Figur und Lage dieſer Flächen benannt. Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn ſie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entſprechen, und ſetzt die Abweichungen von den Eigenſchaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsproceſſe. Dasſelbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, dieſe als Körperwinkel angeſehen werden, wiewohl ſie nur ſelten genau von dieſer Art ſind. Die Mittelpuncte der Kanten und Flächen und die Ecken ſind die Hauptpuncte eines Kryſtalls, und eine gerade Linie, welche durch ſolche Puncte und durch den Mittelpunct der Geſtalt geht, heißt eine Axe desſelben. Man unterſcheidet mehrere Arten von Axen nach Beſchaffenheit der Hauptpuncte, durch die ſie gehen. Jeder Kryſtall hat mehrere Axen, die meiſten Kryſtalle haben ſogar mehrere derſelben Art. So ſind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberſtehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberſtehende Kantenmittelpuncte gehenden, und dieſe wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpuncte gezogenen. Von erſteren hat dieſe Kryſtallgeſtalt vier, von den zweiten ſechs, von den letzteren drei. Eine Axe von ſolcher Lage, daß die darauf ſenkrechten Schnitte regelmäßige Figuren ſind oder die Einzeichnung ſolcher geſtatten, heißt Hauptaxe, widrigenfalls Nebenaxe. Kryſtalle, die nur eine Hauptaxe haben, heißen einaxig, ſolche,

die deren mehrere haben, vielaxig. Das Hexaeder iſt demnach eine vielaxige Geſtalt.

124. Einige Kryſtallgeſtalten ſind von ähnlichen, gleichen und gleichliegenden Flächen begrenzt, dieſe heißen einfache Geſtalten, ſie ſtimmen mehr oder weniger mit den regelmäßigen Körpern der Geometrie überein und alle ihre Flächen gehören zu einer einzigen geometriſchen Geſtalt, wie z. B. das Hexaeder, das Octaeder, das Rhomboeder, die vierſeitige, gleichſeitige oder ungleichſeitige Pyramide. Andere Geſtalten haben ungleiche oder ungleichliegende Flächen zur Begrenzung und heißen, wenn dieſe ſymmetriſch angeordnet ſind, Combinationen; ihre Flächen gehören zu mehreren einfachen Geſtalten. Eine Combination beſteht demnach aus einfachen Geſtalten; ſo z. B. iſt die Geſtalt Fig. 43 von Hexaeder- und Octaederflächen begrenzt, ſie ſtellt gleichſam einen Würfel vor, dem die Ecken genommen worden ſind. Denkt man ſich die durch Wegnahme der Ecken entſtandenen Flächen ſo weit vergrößert, daß die Würfelflächen verſchwinden, ſo kommt das Octaeder wirklich zum Vorſchein. Von den Combinationen ſind bloße Aggregate von Kryſtallen wohl zu unterſcheiden, die durch Zuſammenwachſen zweier oder mehrerer Flächen entſtehen und oft ſogar regelmäßig oder ſymmetriſch ausſehen, häufig mit Natur- oder Kunſtgegenſtänden die größte Ähnlichkeit haben und auch nach ſolchen benannt werden. Von der Art ſind die baumartigen, ſtaudenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen, geſtrickten Geſtalten, die Bleche und Blättchen, Kugeln, Nieren, Trauben rc., wie ſie uns viele Körper zeigen. Oft ſind die einzelnen Individuen, aus denen ein ſolches Aggregat beſteht, zu klein, als daß ſie mit freiem Auge wahrgenommen werden könnten, nicht ſelten reicht auch das bewaffnete Auge nicht aus, und man kann nur aus dem gleichzeitigen Vorkommen ähnlicher Stücke mit deutlicherer Zuſammenſetzung oder aus dem ſucceſſiven Kleinerwerden der Individuen in demſelben Stücke auf die Art ihrer Zuſammenſetzung ſchließen. Kein Wunder, daß ſolche Körper oft weder Regelmäßigkeit noch Symmetrie zeigen, und doch liegen der Bildung ihrer Zuſammenſetzungsſtücke dieſelben Geſetze zum Grunde, unter deren Herrſchaft die ſchönſten Kryſtallgeſtalten entſtehen.

Selbſt vollkommene Kryſtalle entfernen ſich oft von der ſtrengen Symmetrie, und es ſind oft einzelne Flächen auf Koſten der anderen bedeutend vergrößert und ſelbſt an den Winkeln Abweichun-

gen von den durch die Geometrie beſtimmten Größen bemerkbar. Wenn man daher von der geometriſchen Regelmäßigkeit und Symmetrie der Kryſtalle ſpricht, ſo meint man damit jenen Zuſtand, dem ſich die meiſten nur mehr oder weniger nähern, und den nur wenige ganz erreichen.

125. Daß ſich alle zuſammengeſetzten Geſtalten, ſie mögen nun Combinationen oder regelloſe Zuſammenſetzungen ſeyn, auf einfache zurückführen laſſen, iſt klar; es gibt aber ſelbſt unter den einfachen Geſtalten einen ſolchen Zuſammenhang, daß man alle ſolche aus einer geringen Anzahl derſelben durch ein beſtimmtes Verfahren entſtehen laſſen, d. h. ableiten kann. Dazu gibt uns die Natur ſelbſt den Fingerzeig, indem ſie manche Geſtalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und ſo andeutet, es herrſche zwiſchen erſteren eine beſondere Relation, die zwiſchen letzteren fehlt. Man nennt die Geſtalt, aus der man andere ableitet, die aber ſelbſt von keiner anderen abgeleitet wird, die Grundgeſtalt. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, ſondern muß von der Natur ſelbſt durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben ſeyn. Der Inbegriff der Kryſtallgeſtalten, die ſich von einer Grundgeſtalt ableiten laſſen, heißt ein Kryſtallſyſtem. Es gibt demnach ſo viele Kryſtallſyſteme, als Grundgeſtalten angenommen werden.

In Betreff der Grundgeſtalten und der davon herrührenden Kryſtallſyſteme weichen die einzelnen Kryſtallographen von einander ab, wahrſcheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes anſehen. Es würde zu weit führen, die von verſchiedenen Forſchern angenommenen Kryſtallſyſteme anzugeben; nur von den Syſtemen Mohs's ſoll näher die Rede ſeyn. Mohs, der meines Erachtens der Natur am getreueſten bleibt, nimmt ſieben Grundgeſtalten an, woraus auch ebenſo viele Kryſtallſyſteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierſeitige Pyramide; 4) das Orthotyp (gerade, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide); 5) das Hemiorthotyp (ſchiefe, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in die Ebene einer Diagonale); 6) das Hemianorthotyp (ſchiefe, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in die Ebene beider Diagonalen); 7) das Anorthotyp (ſchiefe, ungleichkantige, vierſeitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene beider ſchief auf einander ſtehenden Diagonalen). Die daraus hervorgehenden Kryſtallſyſteme heißen in der Ordnung der angeführten Grundgeſtalten: 1) das teſſulariſche; 2) das rhomboedriſche; 3) das pyramidale; 4) das or=

thotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Von dieſen ſieben Syſtemen umfaßt das erſte die vielaxigen, die übrigen alle einaxigen Geſtalten.

126. Mit der äußeren, regelmäßigen oder ſymmetriſchen Geſtalt der Kryſtalle ſteht auch eine große Regelmäßigkeit der Structur in Verbindung. Es laſſen ſich nämlich die meiſten kryſtalliſirten Körper, ſelbſt wenn ſie nur Bruchſtücke ganzer Kryſtalle ſind, nach gewiſſen Richtungen ſo theilen (ſpalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt dieſe Richtungen den Blätterdurchgang. Solcher Durchgänge gibt es in demſelben Körper wenigſtens drei, oft mehrere, doch läßt ſich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen, einige Körper geſtatten dieſes überhaupt nur ſehr ſchwer und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal ſogar nur durch ein beſonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Kryſtall nach verſchiedenen Blätterdurchgängen ſpaltet, erhält man auch verſchiedene Theilungsgeſtalten, verrichtet man aber die Theilung nach den deutlichſten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig iſt, ſo erhält man eine ſymmetriſche, oft ſogar regelmäßige Geſtalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältniſſe überhaupt zuerſt kennen lehrte, Kerngeſtalt *(forme primitive)* nennt, während er die Geſtalt des ganzen Kryſtalls abgeleitete Geſtalt *(forme secondaire)* heißt. Fährt man fort, den Kern ſowohl als die abgenommenen Blätter weiter zu ſpalten, ſo erhält man lauter kleine, ſymmetriſche Körperchen, die ſich an Geſtalt durchaus gleichen. Haüy nennt ſie Ergänzungstheilchen *(molécules intégrantes)*. Man braucht ſich nicht mit der wirklichen Theilung zu befaſſen, ſondern kann die Geſtalt ſolcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge berechnen. So z. B. iſt es leicht einzuſehen, daß bei einem Hexaeder, einem Rhomboidaldodecaeder und einem ſechsſeitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend ſind, die Ergänzungstheilchen die Geſtalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiſeitigen Prisma's haben müſſen.

Als Beiſpiel einer hieher gehörigen Unterſuchung mag die Spaltung eines Kalkſpathes dienen, der in der Form einer ſechsſeitigen Säule erſcheint, wie Fig. 44 zeigt. Setzt man in *ab* parallel mit *AB* ein Meſſer an und drückt darauf, ſo ſpringt ein Stück *abcd* weg. Das-

ſelbe geſchieht, wenn man das Meſſer parallel mit *DF* und *CE* anſetzt, nicht aber in Richtungen, die mit *AC*, *BD* oder *EF* gleichlaufend ſind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit *HK*, *LM*, *IG* mit Erfolg die Spaltung verſuchen, nicht aber in Richtungen, die mit *GH*, *KM*, *LI* gleichlaufend ſind. Wenn man ſo mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedriſche Kerngeſtalt. Daß eine ſolche Spaltung nicht bei jedem Kryſtalle ausführbar ſey, kann man wohl leicht begreifen; ſie iſt auch zur Kenntniß der Kerngeſtalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Kryſtalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Meſſung beſtimmt, ſo kann man mittelſt Rechnung die Geſtalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach dieſen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt ſechs Kerngeſtalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebſt dem regelmäßigen, auch noch jede vierſeitige Pyramide verſteht); 4) das regelmäßige ſechsſeitige Prisma; 5) das Dodecaeder mit vierſeitigen Flächen; 6) das Triangulardodecaeder. Über die Anzahl und Geſtalt der Ergänzungstheilchen iſt man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen blos ſphäriſche Ergänzungstheilchen an, andere polyedriſche. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiſeitige Säule als ſolche, weil dieſe Körper von der möglichſt geringſten Anzahl von Flächen begrenzt ſind, durch welche überhaupt ein Raum eingeſchloſſen werden kann, und zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus dieſen Theilchen läßt er die Kryſtalle dadurch entſtehen, daß ſie ſich reihenweiſe an einander legen. Die große Verſchiedenheit der Kryſtallgeſtalten bei einer ſo geringen Anzahl von verſchiedenen Elementen, aus denen ſie beſtehen, leitet er daraus her, daß die Schichten ſtufenweiſe abnehmen, ſo wie ſie ſich von der Kerngeſtalt entfernen, und zwar entweder blos an den Ecken oder an den Kanten oder in einer Zwiſchenlage. Man kann ſich dieſes am beſten durch Modelle verſinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76. 229. Unterſuchungen über die Formen der unorganiſchen Natur, von Hausmann. Gött. 1822.)

127. Kryſtalliſirte Körper weichen oft in ihren phyſiſchen Eigenſchaften von unkryſtalliſirten Stoffen derſelben Natur ſehr ſtark ab, wovon der Grund darin liegt, daß bei erſteren die Cohärenzkraft frei wirken kann, während ſie bei letzteren durch äußere Umſtände beſchränkt wird. Die meiſten Körper werden durch Kryſtalliſiren ſpröder und härter; es iſt aber eine Kryſtallfläche nicht an allen Stellen gleich hart, ſondern man bemerkt nach verſchiedenen Richtungen derſelben Fläche Härteunterſchiede, noch größere aber an verſchiedenen Flächen desſelben Kryſtalls, und es ſcheinen dieſe

Unterſchiede mit der Lage der betreffenden Fläche gegen die Axen der Kryſtallgeſtalt in genauer Verbindung zu ſtehen. (Frankenheim in Zeit. 9; 94, 194 und 332.) Der Kohlenſtoff und die Thonerde erlangen durch das Kryſtalliſiren eine unglaubliche Härte, wie man dieſes am Diamant und am Saphir ſieht. Undurchſichtige Stoffe werden durch Kryſtalliſiren oft durchſichtig, wie die meiſten Edelſteine darthun, andere werden dadurch undurchſichtig, wie z. B. der Phosphor. Kryſtalliſirte Stoffe werden durch ihre größere Härte geeignet, chemiſchen Kräften ſtärker zu widerſtehen, als unkryſtalliſirte. Darauf beruht die Bereitung des Metallatlaſſes *(moiré métallique)*, das Damasciren des Stahls, die Eigenſchaft des Meteorſtahls durch ein Ätzmittel ſtrahlige Zeichnungen anzunehmen. Beim Schmelzen des Eiſes bleiben die zuerſt entſtandenen regelmäßigen Eisnadeln am längſten feſt. Viele Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren Waſſer auf und verbinden ſich mit demſelben chemiſch. Man nennt es Kryſtalliſationswaſſer. Dieſes verlieren manche wieder in der Luft und büßen dadurch zugleich ihre Geſtalt ein (verwittern), während andere noch mehr aus der Luft aufnehmen und zerfließen. Gegen beides kann man ſie ſchützen, indem man ſie in ein verſchloſſenes Gefäß gibt, worin ſich etwas Terpentinöhl befindet, das verdünſtet und ſo eine eigene Atmoſphäre um den Kryſtall bildet. Beim Erhitzen ſchmelzen die Kryſtalle, welche viel Kryſtalliſationswaſſer enthalten. Manche Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren tropfbares Waſſer, einen Theil der Mutterlauge oder auch andere Flüſſigkeiten, ja ſogar Gaſe auf. So findet man oft in Bergkryſtallen Waſſertropfen. Brewſter hat in Topaſen, Amethiſten ꝛc. ſehr viele Höhlungen (in einem Stück Cymophan von $\frac{1}{7}$ Q. Zoll Fläche fand er deren 30,000) entdeckt, die mit eigenen Flüſſigkeiten angefüllt waren; ſelbſt mitten im Eis fand er Waſſertropfen. (Zeitſch. 1. 414.) Nach Dumas enthält das ſogenannte Kniſterſalz, wie man es in Wieliczka, Hallſtadt ꝛc. findet, Waſſerſtoffgas und das Freiwerden desſelben verurſacht das beim Auflöſen dieſes Salzes im Waſſer bemerkbare Kniſtern. In Flußſpathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüſſigkeit eingeſchloſſen, die im Freien Flußſpathkryſtalle abſetzte, mit Schwerſpath erfolgte dasſelbe (Zeitſch. 5. 107.); die in Bläschen von Kochſalzkryſtallen enthaltene Flüſſigkeit liefert aber kein Kochſalz, ſondern enthält ſalzſaure Bittererde. (Zeitſch. 7. 238.)

128. Der Zuſammenhang zwiſchen der Kryſtallge-

ſtalt und der materiellen Beſchaffenheit der Körper läßt ſich bei dem gegenwärtigen Stande der Dinge nur aus der Erfahrung entnehmen. Dieſe lehrt, daß derſelbe Stoff in verſchiedenen ſowohl einfachen als Combinationsgeſtalten kryſtalliſiren könne, doch gehören dieſe Geſtalten meiſtens, aber nicht immer, zu derſelben Grundform, mithin in dasſelbe Kryſtallſyſtem. Im Allgemeinen hängt die Kryſtallgeſtalt nicht, wie Haüy meint, von der materiellen Beſchaffenheit der ſich zu einem Kryſtall verbindenden Theilchen, ſondern von der Anzahl und Verbindungsweiſe der Atome ab, es können die Atome *a*, *b*, *c* dieſelbe Kryſtallgeſtalt hervorbringen, wie die von ihnen ganz verſchiedenen *d*, *e*, *f*, und zwei Stoffe *AB* und *C* können, zu einem Körper verbunden, in verſchiedenen Kryſtallformen erſcheinen, je nachdem ſich *AB* unmittelbar mit *C*, oder $A.\frac{1}{2}B$ mit $C.\frac{1}{2}B$ vereiniget, wiewohl in beiden Fällen der Körper *ABC* entſteht. — So z. B. kryſtalliſirt Zinkvitriol wie Kupfervitriol, wenn man ihm $\frac{1}{8}$ des letzteren zuſetzt und dadurch den Waſſergehalt beider einander gleich macht; Phosphorſäure gibt mit jeder Baſis dieſelben Kryſtalle, und es läßt ſich eine Baſis eines phosphorſauren Salzes durch eine andere ohne Störung der Kryſtallgeſtalt erſetzen. Mancher Stoff kryſtalliſirt blos darum bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, weil er eine verſchiedene Waſſermenge in ſeine Miſchung aufnimmt und ſich die Anzahl der ſich verbindenden Atome nach der Temperatur richtet; mancher Stoff hat darum eine ſo große Fähigkeit, anderen in der geringſten Menge beigemiſcht, ſeine Kryſtallgeſtalt aufzudringen, weil er ſchon in einer geringen Quantität eine mit ſeiner natürlichen Miſchung gleiche Atomenzahl hervorbringt.

Von einer Änderung der Anzahl oder Verbindungsweiſe der Atome hängen auch jene Umbildungen ab, die manche Kryſtalle erleiden, ohne vorher in den flüſſigen Zuſtand überzugehen, und welche deutlich beweiſen, daß in einigen Fällen ſchon die an der Elaſticität der Körper erkennbare Verſchiebbarkeit der Theile zur Kryſtalliſirung hinreiche. Kocht man z. B. einen Kupfer- oder Zinkvitriolkryſtall langſam in Alkohol, ſo wird er matt, behält jedoch ſeine Form bei; zerbricht man ihn aber, ſo zeigt er im Innern unzählige, neu gebildete Kryſtalle, die von der Form des Ganzen abweichen. Siehe Mitſcherlich in Pogg. Ann. 11. 323; 12. 137; 17. 385. Haidinger in Pogg. Ann. 6. 191; 11. 173, 366. Vergl. hiemit Schweigg. J. 49. 245; 51. 163; 54. 205, 358.

129. Sowohl die Formen der Kryſtalle als die Phänomene ihrer Entſtehung (121 u. 122) weiſen deutlich darauf hin, daß die kleinſten Theile der Körper nicht ſphäriſch, ſondern höchſt wahrſcheinlich polyedriſch ſind; denn mit erſteren läßt ſich das Daſeyn von Stellen, wo die Anziehung ſtärker iſt, als an anderen (122), durchaus nicht vereinbaren, während die bereits vorgetragenen Lehren, ja ſogar die verſchiedenen Modificationen des feſten Zuſtandes, wovon in der Folge die Rede ſeyn wird, aus der Annahme polyedriſcher Theilchen ſehr wohl begreiflich werden. Sind dieſe Theile ganz ſich ſelbſt überlaſſen, ſo nehmen ſie jene Lage an, bei welcher ihre Anziehung am größten ausfällt, und dieſe Lage beſtimmt dann die Kryſtallgeſtalt. Es iſt klar, daß bei mehreren ſolchen Lagen ein Maximum der Anziehung eintreten kann und daß daher bei derſelben Beſchaffenheit der Atome doch verſchiedene Kryſtallformen möglich ſind, ja es iſt nicht ſchwer zu begreifen, daß zwei Stoffe ſich gegenſeitig, ohne die Kryſtallgeſtalt zu ſtören, vertreten können; denn es wird dazu nur erfordert, daß ihre Atome entweder gleich geſtaltet ſeyen oder daß in ähnlichen Lagen derſelben ein Maximum der Anziehung Statt finde. (Die Kryſtalliſation in geometriſcher und phyſikaliſcher Hinſicht von Brochant de Villiers. Heidelberg, 1820. Grundriß der Kryſtallographie von Naumann. Leipzig, 1830. Mohs Grundriß der Mineralogie. Dresden, 1822. Geſchichte der Kryſtallkunde von Marx. Carlsruhe, 1825. Gehlers neues Wörterbuch, Artikel: Kryſtallometrie.)

B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper.

130. Die Theile feſter Körper befinden ſich in ſtabilem Gleichgewichte unter einander, indem nur durch eine beſtimmte Kraft eine Änderung ihrer Lage bewirkt wird. Dieſe Änderung ſelbſt iſt entweder eine bleibende oder eine nach Wegnahme der ſie bewirkenden Kraft wieder verſchwindende, gerade ſo wie ein ſtabiler, ſchwerer Körper durch eine ſeiner Stabilität entgegenwirkende Kraft wieder in eine andere ſtabile Lage gebracht wird oder nur ſeine alte Lage verläßt, ſo lange die Wirkung jener Kraft dauert, hierauf aber ſie wieder einnimmt. Die verſchiedene Größe der Stabilität der Theile unter einander und die Anzahl ihrer möglichen ſtabilen Lagen begründet verſchiedene Modificationen des feſten Zuſtandes.

In ſo ferne die Lage der Theile eines feſten Körpers durch eine äußere Kraft geändert wird, aber wieder zurückkehrt, ſobald

dieſe Kraft zu wirken aufhört, heißt ein Körper elaſtiſch. Es liegt im Begriffe der Stabilität, daß jeder feſte Körper elaſtiſch, ja für Kräfte, die eine gewiſſe Grenze nicht überſchreiten, ſogar vollkommen elaſtiſch ſey, d. h. genau wieder nach Wegnahme der ſtörenden Kraft ſeine vorige Geſtalt und Dichte annehme; doch wird die Größe der größten Kraft, für welche er noch vollkommen elaſtiſch iſt, für verſchiedene Körper, ja ſelbſt für denſelben Körper unter verſchiedenen Umſtänden verſchieden ausfallen, gleichwie die Stabilität verſchiedener oder desſelben ſchweren Körpers in verſchiedenen Lagen eine verſchiedene Größe hat. Die größte jener Kräfte, für welche ein Körper noch vollkommen elaſtiſch iſt, beſtimmt die Größe der Elaſticität, und die Größe der Dehnung, welche er durch ſie erleidet, die Elaſticitätsgrenze. Das Verhältniß beider zu einander heißt der Elaſticitätsmodulus. Sowohl die erſtere Größe als die letztere iſt bei verſchiedenen Körpern verſchieden und ändert ſich ſelbſt bei demſelben Körper. So haben z. B. gehärteter Stahl, geſchlagenes Meſſing, Elfenbein, Federharz, Fiſchbein ꝛc. eine bedeutende Elaſticität; Stahl hat eine größere Elaſticitätsgrenze als Eiſen; friſches Holz hat eine größere Elaſticitätsgrenze als trockenes, geſchmiedete Metalle eine größere als gegoſſene; Wärme und ſchnelles Abkühlen nach ſtarker Erhitzung verändern die Elaſticitätsgrenze. Auch die Geſtalt der Körper hat hierauf Einfluß, wie man am Glaſe ſieht, das in dünnen Fäden eine größere Elaſticitätsgrenze hat, als in Klumpen. Der innere Grund dieſer Verſchiedenheiten liegt höchſt wahrſcheinlich wieder in der verſchiedenen Geſtalt der Atome und in ihrer gegenſeitigen Entfernung von einander.

Nach Lagerhjelm erleiden alle Arten Eiſen, ſie mögen hart, weich oder brüchig ſeyn, bei gleichen Dimenſionen durch gleiche Kräfte eine gleiche Dehnung und ſind gleich elaſtiſch; aber ihre Elaſticitätsgrenze iſt nicht dieſelbe, ſondern bei hartem Eiſen größer als bei weichem, bei Stahl größer als bei Eiſen. Durch Strecken wird die Elaſticitätsgrenze erweitert, aber die Elaſticitätsgröße unverändert gelaſſen. Der Elaſticitätsmodul iſt für Stangeneiſen = 1070, für Stahl 1085, für Gußeiſen 658, für Kupfer 686, für gezogenes Meſſing 522, für gegoſſenes 325, für Silber 443, für Blei 118, für Glas 368. (Lagerhjelm's Verſuche über die Dichtigkeit, Elaſticität, Schmiedbarkeit und Stärke des Eiſens. Nürnberg, 1829.)

131. Das Verhältniß der Größe der Dehnung oder Compreſſion, welche ein elaſtiſcher Körper innerhalb der Elaſticitätsgrenze von Kräf-

ten erleidet, zu dieſen Kräften zeigen Verſuche, wie ſie s'Graveſande und Coulomb ꝛc. angeſtellt haben. Es wurden zu dieſem Zwecke 1) metallene Saiten durch angehängte Gewichte ausgedehnt und die dadurch entſtandenen Verlängerungen gemeſſen. Solche Stangen wurden freilich auch dünner, beſonders an einzelnen ſchwächeren Stellen und die Theile mußten einander daſelbſt näher gekommen ſeyn, allein nach Cagniard Latour beträgt dieſe Verminderung der Dicke nur $\frac{1}{2}$ von der Vergrößerung der Länge; 2) Metallfedern zuſammengedrückt und ausgedehnt; 3) dünne Stäbe an einem Ende in horizontaler Lage befeſtiget und am anderen durch Gewichte gebogen; 4) Kugeln von Elfenbein, Cautſchouc oder Metall auf eine mit Fett dünn überzogene, ebene Platte von einer beſtimmten Höhe im freien Falle herabgelaſſen und der beim Zuſammendrücken entſtandene, kreisrunde Fleck auf der Platte gemeſſen; 5) lange Drähte vertical am oberen Ende befeſtiget, am unteren durch ein Gewicht geſpannt, das mit einem horizontalen Zuge verſehen war, durch deſſen Bewegung der Draht ſelbſt um einen beſtimmten Winkel gedreht werden konnte. Dieſe Verſuche geben das merkwürdige Reſultat, daß innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität alle räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper den Kräften proportionirt ſind, durch die ſie hervorgebracht werden. Da aber dieſe Kräfte dem Widerſtande des elaſtiſchen Körpers gleich ſind; ſo kann man auch ſagen, daß die räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper dem Widerſtande proportionirt ſeyen, den die Elaſticität leiſtet.

132. Wird die Geſtalt eines feſten Körpers über die Elaſticitätsgrenze hinaus durch eine Kraft geändert, ſo treten entweder die Theile in ein neues ſtabiles Gleichgewicht und der Körper iſt in dieſem abermals elaſtiſch, hat aber meiſtens eine andere Größe und Grenze der Elaſticität, oder es erfolgt eine Trennung ſeiner Theile. Im erſten Falle heißt er dehnbar, im zweiten ſpröde; erleidet ein Körper ſchon durch ſehr geringe Kräfte eine bleibende Formveränderung, ſo heißt er weich, braucht er dazu eine ſehr große Kraft, ſo nennt man ihn hart. Hämmerbarkeit, Streckbarkeit ꝛc. ſind beſondere Formen der Dehnbarkeit. Die Größe der Dehnbarkeit wird durch die Verlängerung beſtimmt, welche ein Körper ohne zu zerreißen verträgt. Sie iſt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur abhängig und überhaupt deſto größer, je höher letztere iſt. Sprödigkeit iſt als ein ſehr geringer Grad von Dehnbarkeit an-

zuſehen und wird beſonders durch ſchnelles Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erzeugt, wie beſonders das Glas zeigt, das, um nicht ſpröde zu ſeyn, ſtets eine ſehr langſame Abkühlung fordert. (Bologneſerfläſchchen, Glastropfen, Glaswürmer.) Der Grund dieſer Eigenſchaften feſter Körper liegt wieder ohne Zweifel in der polyedriſchen Geſtalt ihrer Atome und ihrer gegenſeitigen Entfernung. Gleichwie ein ſchweres Polyeder mehrere Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes hat, deren immer eine durch eine labile Lage in die andere übergeht; ſo können auch polyedriſche, durch anziehende Kräfte zu einem Körper verbundene Atome mehrere ſtabile Gleichgewichtslagen haben und aus einer in die andere übergehen, mithin dehnbar ſeyn. Je mehr Flächen die Atome begrenzen und je weniger dieſe von einander abſtehen, deſto näher liegen die Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes einander und deſto dehnbarer muß der Körper ſeyn. Je kleiner die Stabilität und je näher die Stabilitätslagen einander ſind, deſto weicher wird ein Stoff ausfallen.

Nach Lagerhjelm iſt für Eiſen das Product aus der Elaſticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine conſtante Größe. — Nach der Größe der Hämmerbarkeit folgen die Metalle in folgender Ordnung auf einander, vom hämmerbarſten angefangen: Blei, Zinn, Gold, Zink, Silber, Kupfer, Platin, Eiſen. Ziehbar (zu Draht formbar) ſind ſie in folgender Ordnung: Platin, Silber, Eiſen, Kupfer, Gold, Zink, Zinn, Blei. Nach der Leichtigkeit, mit der ſie ſich zu Blech walzen laſſen, ſtehen ſie in folgender Reihe: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Platin, Eiſen.

133. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen ſeiner Dehnbarkeit von einander entfernt, ſo erfolgt eine Trennung derſelben, weil ſie die Grenzen der Wirkungsſphäre der anziehenden Kraft überſchreiten, und der Körper wird zerriſſen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingeſpannt und am anderen Ende ſo lange mit Gewichten belaſtet, bis er reißt. Dieſes Gewicht um ſo viel vermehrt, als das abgeriſſene Stück ſelbſt wiegt, iſt zwar etwas größer als der Zuſammenhang der getrennten Theile, es kann aber für die Größe des Zuſammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Laſt nur um kleine Unterſchiede wachſen ließ. Man kann das zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig beſtimmen, und durch einen zweiten genaueren Verſuch ver-

beſſern. Beim Zerdrücken ſetzt man den Körper auf eine feſte Unterlage und belaſtet ihn von oben ſo lang, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befeſtiget und außer der unterſtützten Stelle belaſtet, bis der Zweck erreicht iſt. Beim Zerdrehen befeſtigt man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am anderen die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreiſes wirkt und ihn zu drehen ſucht. Dem Zerreißen müſſen Stricke, Ketten ꝛc., dem Zerdrücken Säulen, verticale Balken an Gebäuden, Brückenpfeiler, dem Zerbrechen alle Querbalken, dem Zerdrehen die Wellbäume an Rädern widerſtehen.

134. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querſchnitte an der Trennungsſtelle ab. Sollen daher Zerreißungsverſuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verſchiedener Körper zu ſchließen erlauben, ſo müſſen dieſe gleiche Querſchnitte haben, oder man muß die Reſultate durch Rechnung auf gleiche Querſchnitte reduciren.

Verſuche dieſer Art ſind von vielen Gelehrten angeſtellt worden; man beſchränkte ſich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man ſich von dieſen die größte Anwendbarkeit verſprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Feſtigkeit haben, als die Hölzer, daß aber ſelbſt unter Metallen eine große Verſchiedenheit in Bezug auf Feſtigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Umſtänden ergibt ſich aus Muſſchenbroeks Verſuchen folgende Ordnung der Metalle vom feſteſten angefangen: Eiſen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegoſſene Metalle ſind in der Regel ſchwächer als geſchmiedete; warme ſind wieder ſchwächer als kalte. Bei den meiſten Metallen hat ſchnelles Abkühlen eine große Veränderung der Feſtigkeit zur Folge, doch iſt dieſe Veränderung nicht für alle von derſelben Art. So wird z. B. Eiſen dadurch ſtärker, Kupfer ſchwächer. Mäßiges Hämmern ſtärkt, zu heftiges ſchwächt den Zuſammenhang, letzteres wahrſcheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit ſo ſehr vermehrt, daß der geringſte, ungleich angebrachte Schlag kleine Riſſe erzeugt. Die chemiſche Miſchung ändert die Feſtigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht blos auf die Verſchiedenheit der in der Miſchung enthaltenen Stoffe an, ſondern auch auf das Verhältniß ihrer Mengen. Dieſes beſtätigen die Compoſitionen zu Stückgut, Glockenſpeiſe, Tomback, Semilor. Oft reicht ein ſehr kleiner Zuſatz eines Stoffes hin, die Feſtigkeit ungemein zu verſtärken. So wird Eiſen durch Kohlenſtoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch $1/5$ Prc. Silber oder noch beſſer durch $1/2$ Prc.

Rhodium ungemein verbeſſert. (Gilb. Ann. 69. 169.) Holz iſt ſchwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiſte Feſtigkeit, alle weichen Holzarten ſind viel ſchwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Feſtigkeit ſo auf einander: Buche, Eſche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz desſelben Namens hat auch dieſelbe Stärke: denn anders iſt die Feſtigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachſen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja in demſelben Baume haben Stamm, Äſte und Wurzeln eine verſchiedene Feſtigkeit. Um die Feſtigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man ſelbe von verſchiedener Dicke, aus einer verſchiedenen Anzahl von Litzen und Fäden beſtehend, von verſchiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht. Den Verſuchen gemäß ſind Stricke von derſelben Dicke deſto ſtärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem ſie beſtehen, und je weniger ſie zuſammengedreht ſind. Durch das Zuſammendrehen kommen die Fäden ſchon in einen geſpannten Zuſtand, den man ſo anſehen kann, als trügen ſie ſchon ein Gewicht. Deßhalb ſollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch 1/6 ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zuſammendrehen entſtehenden Nachtheil zu beſeitigen, ſchlauchförmig gewebte Stricke empfohlen. Da Stricke auch durch die Näſſe kürzer werden und mehr Spannung bekommen, ſo iſt begreiflich, daß auch dadurch der Feſtigkeit geſchadet wird. Das Theeren bewirkt dasſelbe, wie das Drehen und Benetzen. Geflochtene Schnüre ſind ſtärker als gedrehte, ungebleichte ſtärker als gebleichte, ſeidene ſtärker als leinene von derſelben Dicke; eine Schnur von Menſchenhaar iſt ſtärker, als eine eben ſo dicke von Pferdehaaren.

135. Beim Zerdrücken fallen die Reſultate der Verſuche ſehr verſchieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz iſt. Am reinſten ſind ſie bei kurzen Körpern, weil dieſe ſich nicht biegen. Auch hier ändert ſich zuerſt der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft, er verkürzt ſich und wird dicker; ſo wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinabgleiten. Harte homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln, einige Steine theilen ſich zuerſt in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt ſind und die keilförmig auf einander wirken, bis ſie ſich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächſt mit dem Querſchnitte und iſt bei einerlei Größe desſelben deſto bedeutender, je kleiner der Umfang die-

ſes Querſchnittes iſt. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerſtand des Körpers.

136. Eine Kraft, die einen Körper zu zerbrechen ſucht, entfernt natürlich zuerſt die an der convexen Seite liegenden Theile und nähert die an der concaven liegenden; nur gewiſſe im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile in einem Querſchnitte ſo ſehr gedehnt, daß ſie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten ſo ſehr einander genähert, daß bei weiterer Annäherung ein Zerdrücken eintritt; ſo erfolgt bei der geringſten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieſer zeigt ſich bei verſchiedenen Körpern auf verſchiedene Weiſe. Beim Glas, bei Steinen und gegoſſenen Metallen trennen ſich alle Theile eines Querſchnittes auf einmal; bei Hölzern findet nur an der am meiſten convexen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geſchmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander und treten gleichſam in ein neues Gleichgewicht. Übrigens richtet ſich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimenſionen des Körpers; ſie wächſt, wie die Breite und das Quadrat der Höhe zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper ſind im Verhältniß zu ihrer Maſſe ſtärker als maſſive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Maſſe viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (Duhamel in Erſch's und Gruber's Encykl. B. 18. 212.)

137. Wirkt eine Kraft ſo auf einen Körper, daß ſie ihn zu drehen ſucht, ſo werden die Theile außer dem befeſtigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher deſto größer iſt, je mehr ſie vom feſten Ende abſtehen. Dadurch kommen die Theile, welche ſich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befinden, in eine Schraubenlinie zu liegen und entfernen ſich dabei von einander. Steigt dieſe Kraft ſo weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, ſo erfolgt bei der geringſten Steigerung derſelben ein Abdrehen.

138. Den bisher angeführten Erſcheinungen analog ſind diejenigen, welche man bei getrennten Körpern bemerkt, die an mehreren Puncten mit einander in Berührung gekommen ſind. Nimmt man zwei Bleiſtücke, gibt jedem eine ebene und metalliniſche Fläche, drückt ſie an dieſen zuſammen, ſo kann man ſie nur mit großer Kraft wieder von einander trennen. Eine Bleiplatte mit einer

Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt ein faſt untrennbares Ganzes. Zwei Stücke weiches Eiſen und Platin laſſen ſich durch Hammerſchläge zuſammenſchweißen. Nach Hermbſtädts, Cavendiſhs und anderer Verſuchen ſollen manche Körper ſchon in einiger Entfernung ein Beſtreben zur Vereinigung äußern.

139. Faßt man alles, was die in dieſem Kapitel angeführten Thatſachen und Geſetze in Betreff der Wirkungsweiſe der Molecularanziehung bei feſten Körpern lehren, zuſammen, ſo gewinnt man die Überzeugung: 1) daß die Molecularanziehung von der Natur der kleinſten Theile, denen ſie zukommt, und von ihrer Temperatur abhängt, 2) daß ſie wohl in die Entfernung wirkt, aber mit wachſender Diſtanz der betreffenden Theile ſehr ſchnell abnimmt und bei kaum merklicher Diſtanz ſchon als verſchwindend klein angeſehen werden muß; wegen der ungemeinen Kleinheit der Atome und ihrer Entfernungen von einander kann es aber deßungeachtet ſeyn, daß ſich die Kraft eines Theilchens ſelbſt ohne merkliche Abnahme der Intenſität auf ſehr viele andere erſtreckt. Dieſe wenigen Sätze machen die Baſis der neueſten, von Poiſſon mit ſo gutem Erfolg angeſtellten, mathematiſchen Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung der Körper aus. (Suppl. 185.)

Siehe Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1, in Pogg. Ann. 8. 25; Mitis in Zeitſch. 3. 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Verſuche über den Widerſtand des geſchmiedeten Eiſens. Aus dem Franz. Leipzig, 1825. Tregold über die Feſtigkeit des Gußeiſens. Aus dem Engl. Leipzig, 1826. Von den älteren Werken hierüber ſind vorzüglich zu bemerken: *Musschenbroek introd. in cohaerent. corp. firm. Lugd. Bat.* 1725. *G. s'Gravesande elementa physicae. Leidae,* 1742. *pag.* 367 *e. s.*

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern (Hydroſtatik).

A. Über Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere.

140. Das Weſen des flüſſigen Zuſtandes beſteht in der abſolut leichten (d. h. durch die kleinſte denkbare Kraft bewirkbaren) Verſchiebbarkeit der Theile nach allen Richtungen. Sie kann offenbar nur in Körpern Statt finden, deren kleinſte Theile ſo weit von einander entfernt ſind, daß die Molecularwirkung jedes einzelnen rings um den Mittelpunct ſeiner Maſſe von gleicher Stärke iſt und demnach dieſelbe ſo erfolgt, als wären dieſe Theilchen ſphäriſch. Die genannte Verſchiebbarkeit der Theile iſt die Grundlage aller Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung flüſſiger Körper, und alle mechaniſchen Erſcheinungen ſolcher Körper ſind Folgen dieſer Eigenſchaft und der auf die kleinſten Theile wirkenden Kräfte.

141. Eine natürliche Folge der Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß ſich in einer flüſſigen Maſſe die Wirkung einer Kraft, welche nur nach e i n e r beſtimmten Richtung zielt, nach a l l e n Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke ſich in einem Gefäße *ABCD* (Fig. 45) eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, von deſſen Schwere man vor der Hand abſehen kann, und über demſelben einen dicht anſchließenden Kolben *ABab*, der mit der Kraft *P* abwärts drückt. Dieſer Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die, die untere Kolbenfläche berührenden Waſſertheilchen, pflanzt ſich aber durch dieſe nach allen Richtungen fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung iſt für ſich klar, weil nach dieſer Richtung die Kraft *P* wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß ſie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und dieſe werden eben ſo nach auswärts gedrückt, wie der Boden nach abwärts gedrückt wird. Eine andere Folge der Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß eine flüſſige Maſſe nur dann im Gleichgewichte ſtehen kann, wenn die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für ſich im Gleichgewichte ſtehen, mithin entweder ſich ſelbſt aufheben oder durch einen Widerſtand aufgehoben werden. Einen ſolchen Widerſtand leiſten die Wände der Gefäße durch ihre Feſtigkeit, auch die Theile tropfbarer

Flüſſigkeiten durch ihre Unzuſammendrückbarkeit; bei den Theilen ausdehnſamer Flüſſigkeiten wirkt ihr Beſtreben, ſich auszudehnen, den äußeren Kräften entgegen. Hieraus kann man nun klar einſehen, daß das Gleichgewicht einer flüſſigen Maſſe nicht geſtört wird, wenn man einen Theil derſelben durch eine feſte Wand erſetzt, welche durch ihre Feſtigkeit dasſelbe leiſtet, was die von ihr verdrängten flüſſigen Theile durch ihre Unzuſammendrückbarkeit oder Ausdehnſamkeit zu leiſten vermochten, oder umgekehrt an die Stelle einer feſten Wand flüſſige Theile ſetzt. Iſt im Gefäße *ABCD* der Boden *CD* eben ſo groß wie die untere Kolbenfläche *A*; ſo iſt offenbar der Druck des Kolbens auf den Boden gleich der geſammten Kraft *P* desſelben und jedes Stück *a* des Bodens erleidet einen Druck *p*, welcher durch die Proportion $A:a=P:p$ gefunden wird und daher gleich $\frac{aP}{A}$ iſt. Denſelben Druck erleidet jedes Stück *a* der Seitenwand, weil nur unter der Bedingung der völligen Gleichheit des Druckes nach allen Seiten Gleichgewicht herrſchen kann. Denkt man ſich nun den Boden *CD* bis *E* vergrößert und das Gefäß *ABCD* in die Form *ABGFED* gebracht, wodurch das Wandſtück *GC* durch Flüſſigkeit erſetzt wird; ſo muß, wenn das Gleichgewicht fortdauern ſoll, ein Stück *a* des Bodens *DE* durch die Kraft *P* ebenfalls den Druck $\frac{aP}{A}$ erleiden. Da nun *DE* mehrere Theile *a* enthält, als *CD*, ſo wird durch Vergrößerung des Bodens der Druck auf ihn verſtärkt, wiewohl die drückende Kraft unverändert geblieben iſt. Hätte man den Boden *CD* durch Einziehen der Wände gegen unten zu verkleinert, und ſtatt der flüſſigen Theile im Gefäße *ABCD* die Wände *ac* und *bd* angebracht; ſo wäre der Druck auf den Boden *cd* eben ſo verkleinert worden, wie er vorher vergrößert wurde. — Befindet ſich eine Flüſſigkeit in einem offenen Gefäße, ſo muß ſie im Stande des Gleichgewichtes eine ſolche Oberfläche haben, daß die Richtungen der auf ſie wirkenden Kräfte auf ihr ſenkrecht ſtehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden, wovon eine in der zu ihrem Angriffspuncte gehörigen Berührungsebene wirken und daher ein Herabgleiten der Theile längs derſelben verurſachen würde.

142. Nach dieſen Geſetzen richten ſich alle flüſſigen Körper, ſowohl die tropfbaren als die ausdehnſamen, weil ſie auf einer Eigenſchaft beruhen, die beiden gemeinſchaftlich zukommt; doch gibt

es ſowohl für die einen als für die anderen Körper auch beſondere Geſetze, die durch jene Eigenſchaften beſtimmt werden, auf denen das Weſen des tropfbaren oder ausdehnſamen Zuſtandes beruht. — Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweiſe gehandelt werden ſoll, ſind ſo ſchwer zuſammendrückbar, daß nur ſehr große Kräfte eine merkliche Compreſſion bewirken können und dieſelben für mäſſige Kräfte als völlig unzuſammendrückbar angeſehen werden können, und dieſe Eigenſchaft begründet das Daſeyn eigenthümlicher Geſetze für ſolche Körper.

Auf der Fortpflanzung des Druckes und der Unzuſammendrückbarkeit einer Flüſſigkeit beruht die Bramah'ſche Preſſe. (Fig. 46 *a* von Außen und *b* im Durchſchnitte.) Dieſe beſteht im Weſentlichen aus zwei verticalen, cylindriſchen, mit Waſſer gefüllten Gefäßen *A* u. *B* von ungleichen Durchmeſſern, die mittelſt einer horizontalen Röhre *C* mit einander verbunden ſind und in deren jedem ſich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des kleineren mittelſt eines Hebels *D* auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, ſo wirkt dieſer Druck verſtärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen kann, iſt in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe *a* angebracht, welche dem Waſſer vom kleineren Cylinder in den größeren zu gehen geſtattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, iſt mit jenem ein Waſſergefäß mittelſt einer Klappe *b* in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Waſſer in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasſelbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwiſchen dem größeren Cylinder und dem Waſſergefäße durch Umdrehen eines Hahnes *c* herſtellt, kann das Waſſer wieder aus jenem in dieſes gelangen, worauf der Kolben durch ſein eigenes Gewicht ſinkt und dem Druck auf den Körper, welcher ſich zwiſchen der Kolbenplatte *E* und dem Gerüſte der Preſſe *F* befindet, ein Ende macht. Es iſt leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein beſtimmter, unmittelbar am äußerſten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Iſt *D* der Durchmeſſer des größeren, *d* derjenige des kleineren Kolbens, *A* der längere, *a* der kürzere Hebelarm; ſo wird die am Hebelende wirkende Kraft *p* durch den Hebel in dem Verhältniſſe $a : A$, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältniſſe $d^2 : D^2$ verſtärkt und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p \cdot \frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht dieſe Preſſe heut zu Tage häufig in Tuchfabriken, Papiermühlen; auch zum Heben großer Laſten wird ſie verwendet.

143. Starke Kräfte bewirken an tropfbaren Flüſſigkeiten eine Compreſſion, die bis zu einer gewiſſen Grenze der Kraft proportionirt iſt, es kehrt auch, wenn dieſe Kraft zu wirken aufhört, ihr voriges Volumen wieder zurück; ſolche Körper ſind alſo vollkommen elaſtiſch. Dieſes hat zuerſt Herbert bewieſen, und Pfaff, Perkins, Oerſted, vorzüglich aber Colladon und Sturm haben es beſtätiget. Herbert bediente ſich des Apparates Fig. 4, wo *A* eine hohle, an eine enge Röhre *a* angeblaſene Glaskugel von bekannter Capacität, *B* eine erweiterte, aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortſetzung der Röhre *a* iſt. Die Kugel *A* befindet ſich in einem waſſerdichten Gefäße *C*, an deſſen oberer Wand ſich ein Rohr *d*, von gleichem Durchmeſſer mit *a*, erhebt. Wird die Kugel *A* ſammt einem Stück der engen Röhre bis *a*, ſo wie das die Kugel umgebende Gefäß *C* bis *d*, mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr *B* Queckſilber nachgegoſſen, um jene Flüſſigkeit zuſammenzudrücken; ſo braucht man nur den Weg *ab*, um welchen die Flüſſigkeit in der Röhre zurückgewichen, und den Weg *de*, um welchen ſie im Gefäße *C* geſtiegen iſt, zu meſſen, und den Unterſchied der Volumina *ab* — *de* mit dem Volumen der Flüſſigkeit von dem Verſuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüſſigkeit von *a* nach *b* von der Compreſſion derſelben und von der Ausdehnung der Kugel *A*, das Steigen *de* aber blos von letzterer Urſache herrührt, ſo iſt *ab* — *de* offenbar die Größe der Compreſſion, welche die Flüſſigkeit erlitten hat. Theilt man dieſelbe durch das urſprüngliche Volumen der Flüſſigkeit, ſo erfährt man, den wievielten Theil dieſes Volumens die Compreſſion beträgt. Colladon und Sturm, deren Arbeiten über den beſprochenen Gegenſtand die ausführlichſten ſind, gaben die zu comprimirende Flüſſigkeit in eine cylindriſche Röhre *a* (Fig. 5), die wie ein Thermometergefäß mit einer in gleiche Volumentheile getheilten Glasröhre zuſammenhing, und brachten dieſe Röhre in ein größeres, mit derſelben Flüſſigkeit gefülltes, cylindriſches Gefäß *b*, das an einem Ende geſchloſſen, am anderen mit einer Vorrichtung *c* verbunden war, um den nöthigen Druck zugleich auf die Flüſſigkeit in den Gefäßen *a* und *b* hervorbringen zu können. Die Flüſſigkeit in *a* reichte bis in die graduirte Röhre hinein und war von der Flüſſigkeit des Gefäßes *b* durch eine Luftſäule getrennt. Wurde nun ein Druck von beſtimmter Stärke auf die Flüſſigkeiten in den Gefäßen *a* und *b* ausgeübt, ſo ließ ſich jedes-

mal das Volumen der comprimirten Flüſſigkeit in *a* erkennen und man konnte aus der Volumenverminderung und dem urſprünglichen Volumen wieder wie vorhin die Größe der Compreſſion abnehmen. Folgende Tabelle gibt nun die Reſultate dieſer Verſuche in Miliontheilchen des urſprünglichen Volumens für den Druck von einer Atmoſphäre (ungefähr $12\frac{1}{2}$ Pf. für 1 Q. Zoll Fläche) an:

Queckſilber bei 0°C . =	5. 03	Salpeteräther bei 0°C =	71. 5
Luftleeres Waſſer bei 0°C . . . . . =	51. 3	Salzäther bei 11°,2C =	85. 9
Waſſer Lufthaltend bei 0°C . . . . . =	49. 5	Eſſigſäure bei 0°C . =	42. 2
Alkohol bei 11°,6C . =	96. 2	Schwefelſäure concent. bei 0°C . . . . . =	32
Schwefeläther bei 0°C =	133-122	Salpeterſäure von 1.403 ſp. G. bei 0°C . . =	32. 2
„ bei 11°C =	150-141	Terpentinöhl bei 0°C =	73.
Waſſer mit Ammoniak geſättiget . . . . =	38	Eſſigäther bei 12°C . =	79. 3

Alkohol, Schwefeläther, Eſſigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zuſammengedrückt, ſondern ihre Compreſſibilität nimmt ab, wenn die Flüſſigkeit ſchon ſtark comprimirt iſt. (Zeitſch. 5. 236.) — Tropfbare Flüſſigkeiten verhalten ſich bei der Compreſſion etwas anders als feſte Körper. Jene erleiden nach allen Richtungen dieſelbe Compreſſion, ſo daß die Theile, welche vor dem Zuſammendrücken in der Oberfläche einer Kugel lagen, auch nach der Compreſſion in einer ſolchen, aber kleineren Oberfläche liegen, während feſte Körper durch eine drückende Kraft nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Compreſſion erleiden, ja oft nach einer Richtung einer Compreſſion, nach einer anderen zugleich einer Dilatation unterliegen.

144. Wiewohl die abſolut leichte Verſchiebbarkeit der Theile eine weſentliche Eigenſchaft tropfbarer Körper iſt, ſo beſitzen ſie die in der Natur vorhandenen Körper doch nicht vollkommen, ſondern nur annäherungsweiſe. Am meiſten nähert ſich dieſem mathematiſchen Zuſtande tropfbare Schwefelwaſſerſtoffſäure, dann tropfbarer Kohlenwaſſerſtoff, mehr entfernt ſteht das Waſſer und noch mehr die fetten Öhle. Manche Körper weichen von dem Zuſtande der vollkommenen Flüſſigkeit gar weit ab und erſcheinen in einer Art Mittelzuſtand zwiſchen Feſtigkeit und Flüſſigkeit, wie z. B. Honig, viele Öhle. Dieſer Zuſtand hängt von einer ſolchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molecularkraft nach verſchiedenen Richtungen ſchon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß ſolche Körper Gemenge eines

flüſſigen und eines fein zertheilten, feſten Stoffes ſind, wie dieſes bei erkaltendem Öhle der Fall iſt, bei welchem das Stearin eher feſt wird als das Elain.

Man kann demnach auch Grade der Flüſſigkeit annehmen. Dieſe beſtimmt man dadurch, daß man eine beſtimmte Menge einer Flüſſigkeit aus einem enghalſigen Gefäße abfließen läßt und die Dauer des Abfluſſes mit ihrem ſpecifiſchen Gewichte multiplicirt. Man nimmt die Flüſſigkeit des Waſſers als Einheit an. Da fand man die Flüſſigkeit des Weingeiſtes = 1.098, die des Olivenöhls = 0.045 ꝛc.

145. In tropfbaren Flüſſigkeiten hat von den zwei, den kleinſten Theilchen eigenen Kräften (39), die abſtoßende das Übergewicht. Dieſes beweiſet der Umſtand, daß die an der Oberfläche einer Flüſſigkeit liegenden Theilchen alſogleich in ausdehnſamen Zuſtand übergehen, wenn von Außen kein Druck auf ſie wirkt. In den gewöhnlichen Fällen bewirkt die atmoſpäriſche Luft dieſen Druck, im luftleeren Raume vertreten ſie aber bald die ſich bildenden Dünſte, im Inneren einer ſolchen Maſſe wird dem Beſtreben, ausdehnſam zu werden, durch das Gewicht der darüber befindlichen Theile Einhalt gethan. Man darf aber hiebei nicht überſehen, daß dieſe abſtoßende Kraft blos die Reſultirende zweier entgegengeſetzter Kräfte iſt und daß deßungeachtet auch eine anziehende Kraft vorhanden ſey; ja man kann ſogar beweiſen (*Mém. de l'Acad. Tom. IX. p.* 74), daß von den zwei Hauptkräften tropfbarer Körper die abſtoßende mit wachſender Entfernung der Angriffspuncte ſchneller abnehme als die anziehende, und daß daher ein Theilchen auf die nächſte Umgebung überwiegend abſtoßend, auf die fernere hingegen anziehend wirken müſſe.

146. Tropfbare Körper werden außer von den ihnen eigenen Molecularkräften auch noch von ſolchen afficirt, welche manche ihnen ſehr nahe ſtehende oder ſie berührende, feſte und tropfbare Körper auf ſie ausüben. Das Daſeyn einer Anziehung, welche feſte Körper auf flüſſige äußern, wird durch unzählige Erſcheinungen außer Zweifel geſetzt. Läßt man z. B. einen kleinen Waſſertropfen auf eine reine Glasplatte fallen, ſo ſieht man ihn aus einander fließen und die ihm urſprünglich eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er ſich aber, wenn er nicht zu groß iſt, völlig in ſeiner ſphäriſchen Geſtalt. Was der Waſſertropfen auf einer reinen Glasplatte, das zeigt auch ein Queckſilbertropfen auf einer Zinntafel, während er ſich auf Glas ſo verhält,

wie Waſſer auf einer Fettſchichte. Das Naßwerden eines Körpers in verſchiedenen Flüſſigkeiten bezeuget eben ſo, wie der vorige Fall, die Anziehung zwiſchen ihm und den Flüſſigkeiten. Bringt man eine Scheibe mit der Oberfläche einer ruhigen Flüſſigkeit, die in einem weiten Gefäße enthalten iſt, in Berührung, und verſucht ſie dann wieder wegzunehmen; ſo erfährt man einen Widerſtand, der bei einerlei Flüſſigkeit deſto größer iſt, je größer der Durchmeſſer der Scheibe, und je geringer die Temperatur der Flüſſigkeit iſt. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich auch eine Säule der Flüſſigkeit in die Höhe, bis zu einer beſtimmten Grenze; wird dieſe überſchritten, ſo reißt ſich die Flüſſigkeit los. Wollte man ſie an dieſer Grenze im Gleichgewichte erhalten, ſo müßte dazu eine Kraft angewendet werden, die dem Gewichte der Scheibe und der gehobenen Säule gleich kommt. Daß ſich dieſe Kraft nur auf eine ſehr geringe Entfernung äußert, zeigt der Umſtand, daß die Größe des Gewichtes, wodurch eine ſolche Scheibe von der Flüſſigkeit losgeriſſen wird, gar nicht von der Dicke der Scheibe abhängt. — Es herrſcht auch zwiſchen verſchiedenen Flüſſigkeiten eine Adhäſion, deren Stärke von der Natur derſelben abhängt. Ein Tropfen fettes Öhl breitet ſich auf einer Waſſerfläche ſchnell aus, wird aber durch flüchtiges Öhl verdrängt und dieſes wieder durch milchartige Pflanzenſäfte oder durch Weingeiſt überwältiget, zum Beweiſe, daß unter dieſen Körpern fettes Öhl die kleinſte, Weingeiſt die größte Adhäſion zum Waſſer habe. (Carradori in Voigts Magazin B. 2. S. 1.) Vielleicht gehören auch Brown's Molecularbewegungen (Pogg. Ann. 14. 294) hieher.

Man benutzt die erſtere Anziehung zu den mannigfaltigſten Zwecken und bei vielen techniſchen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anſtreichen, Mahlen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaſchine zum Waſſerheben beruht darauf. Dieſe beſteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet ſich in dem Waſſerbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Waſſer gehoben werden ſoll. Letztere läßt ſich mittelſt einer Kurbel um ihre Axe drehen und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit ſich fort. Wird ſchnell genug gedreht, ſo erſcheint der ganze aufſteigende Arm des Strickes mit Waſſer umgeben, welches beim Wenden desſelben in einem eigenen Behälter geſammelt werden kann. Aus der hier beſprochenen Anziehung erklärt ſich auch das Herabfließen mancher Flüſſigkeiten an der äußeren Wand des Gefäßes, worin ſie enthalten iſt, beim Ausgießen derſelben, und der Nutzen der Ausguß-

ſchnäbel und der auswärts gebogenen Ränder ſolcher Gefäße. Auf der Adhäſion beruht auch die Bewegung des ſchottiſchen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinſe mit der converen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Iſt dieſe Platte trocken, ſo bewegt er ſich auf derſelben ohne irgend ein auffallendes Phänomen abwärts, wird aber an die Stelle, wo er ſich befindet, ein Waſſertropfen gebracht, der ſich ausbreitet und die convexe Fläche ſo umſchließt, daß er daſelbſt einen Meniskus bildet; ſo beginnt der Körper ſich in drehender Bewegung abwärts zu ziehen und kann durch Neigen der Glastafel nach dieſer oder jener Seite beliebig herumgeführt werden.

147. Faßt man alles bisher Geſagte zuſammen, ſo überzeugt man ſich, daß auf tropfbare Flüſſigkeiten dreierlei mechaniſche Kräfte wirken: 1) die Schwere; 2) die Molecularwirkung der Flüſſigkeiten auf ſich ſelbſt; 3) die Anziehung feſter oder flüſſiger fremdartiger Körper. Zu dieſen Kräften muß noch, damit tropfbare Flüſſigkeiten als ſolche beſtehen können, ein äußerer Druck kommen. Die genannten drei Kräfte und dieſer Druck beſtimmen die beſonderen Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten. In vielen Fällen hat die Schwere über die anderen Kräfte ein ſo entſchiedenes Übergewicht, daß die Wirkungen aller anderen Kräfte gegen die ihrigen verſchwinden, und in ſolchen Fällen kann man eine Flüſſigkeit als Aggregat ſchwerer, unzuſammendrückbarer, nicht adhärirender, abſolut leicht verſchiebbarer Theilchen behandeln, doch geht dieſes nicht immer an, ſondern man muß auch oft die anderen Kräfte gehörig würdigen. Wir wollen den erſten Fall von dem viel ſchwierigeren letzten trennen und ihn vorausſchicken.

B. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, unzuſammendrückbarer, nicht adhärirender Flüſſigkeiten.

148. Befindet ſich eine ſchwere Flüſſigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, ſo muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Maſſe bewirken, das nur durch den Widerſtand des Gefäßes aufgehoben wird. Deshalb nehmen tropfbare Flüſſigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, in welchem ſie ſich befinden. Iſt dieſes Gefäß offen, ſo muß die Oberfläche der Flüſſigkeit ſo beſchaffen ſeyn, daß ſie ſich der Fläche eines Kugelſegmentes in dem Maße nähert, in welchem ſich die Geſtalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in

dieſem Falle ſteht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche ſenkrecht (141). In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten, und daher annehmen, die Oberfläche der Flüſſigkeit ſey in einer horizontalen Ebene.

149. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüſſigkeit einen Druck nach abwärts und daher (wegen 141) nach allen Seiten. Um dieſen Druck für ein Theilchen im Innern der Maſſe meſſen zu können, denke man ſich in ihr ein ſolches, unendlich kleines Theilchen *a*, (Fig. 49) und man ſieht leicht, daß es durch das Gewicht der Säule *ab* abwärts, mithin auch eben ſo ſtark ſeitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieſer Druck von der Tiefe des Theilchens *a* unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit ihr parallelen, mithin, bei kleinen Maſſen, in derſelben horizontalen Ebene liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendruck der übrigen her.

150. Iſt Fig. 50 ein bis *AB* mit einer Flüſſigkeit gefülltes Gefäß und *AB* horizontal; ſo kann man ſich vorſtellen, daß im Inneren eine feſte Wand *CED* entſtehe, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (141). Es werden daher auch im Gefäße *ACEDB* die Oberflächen der Flüſſigkeit *AC* und *BD* in einerlei Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beſchaffen ſeyn. Solche Gefäße, wo von einem der Übergang in das andere nicht geſperrt iſt, heißen Communicationsgefäße und eine ruhige Flüſſigkeit ſteht in ihnen immer gleich hoch. Hierauf beruht das Aufſteigen des Waſſers ſowohl in den gewöhnlichen als in den ſogenannten Arteſiſchen Brunnen, des Grundwaſſers in Flüſſen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtloſen Nachtlämpchen (Pogg. Ann. 10. 624.) u. ſ. w.

151. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 51, mit geradlinigem, horizontalen Boden *CD*, und verticalen Wänden *AC* und *BD*, von einer Flüſſigkeit erfüllt iſt, ſo drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der geſammte Druck *P* auf denſelben gleich ſeyn dem abſoluten Gewichte der Flüſſigkeit, mithin dem Producte aus der Baſis *A* des Gefäßes, aus der Höhe *B* der Flüſſigkeit und ihrem ſpecifiſchen Gewichte *S*, oder es iſt $P = ABS$. Dasſelbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Geſtalt, ſo daß der Bodendruck von der Menge der Flüſſigkeit ganz

unabhängig iſt und ſich nur nach der Baſis', der Höhe und dem ſpecifiſchen Gewichte derſelben richtet. Denn es ſey (Fig. 52) das Gefäß *ABCD* mit einer Flüſſigkeit bis *AB* gefüllt und man denke es ſich als ein Stück eines Communicationsgefäßes *ABEF*. In dieſem wird offenbar Gleichgewicht herrſchen, ſobald die Flüſſigkeit bis *AB* und *EF* reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß *ABCD*, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden verſehene *GCDH* den zweiten Arm ausmachen. Dieſes kann aber nur ſeyn, wenn der Druck auf *CD* in beiden Gefäßen gleich groß iſt. Enthielte ein Gefäß Schichten von ungleichartigen Flüſſigkeiten, ſo dürfte man nur den Druck jeder einzelnen berechnen und die Reſultate ſummiren, um den Geſammtdruck auf den Boden zu erhalten. Hierauf beruhen die Erſcheinungen des anatomiſchen Hebers und ſeine Benützung als Wage, die Waſſerſäulenmaſchine, Real's Preſſe.

Der anatomiſche Heber (Fig. 53) iſt ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und ſehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blaſe verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme des Waſſers beſtimmt iſt, welches die Blaſe auf dem weiteren Arm ſpannen, oder ein darauf liegendes Gewicht heben ſoll.

Die Waſſerſäulenmaſchine (Fig. 54) unterſcheidet ſich vom anatomiſchen Heber dadurch, daß der weitere Arm *A* durch einen wohlanliegenden Kolben *a* geſchloſſen iſt, der durch den Druck des Waſſers aufwärts bewegt wird, nach Abfluß desſelben aber (welches durch einen eigenen Hahn *b*, oder einen Hilfskolben bewerkſtelliget wird), durch ſein eigenes Gewicht ſinkt, wenn nicht die Einrichtung ſo getroffen iſt, daß ihn auch nach dieſer Richtung eine Waſſerſäule treibt.

Real's Preſſe (Fig. 55) iſt ein weiter Cylinder mit zwei ſiebartig durchlöcherten Platten *a*, *b*, der oben mit einer hohen, engen Anſatzröhre *c* verſehen iſt, zur Aufnahme des Waſſers, welches auf die im Cylinder befindliche, auszupreſſende, Subſtanz einen Druck auszuüben beſtimmt iſt.

152. Mittelſt der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes iſt man im Stande zu beweiſen, daß ungleichartige Flüſſigkeiten in Communicationsgefäßen dann im Gleichgewichte ſtehen werden, wenn ſich ihre Höhen verkehrt, wie ihre ſpecifiſchen Gewichte verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 56 z. B. Queckſilber, ſo daß es bis *AB* und *CD* reicht; ſo wird es im Gleichgewichte

8 *

ſtehen, wenn *AB* und *CD* in einer horizontalen Ebene liegen (150). Gießt man nun auf *AB* irgend eine andere, leichtere Flüſſigkeit, z. B. Weingeiſt bis *EF*, ſo wird deshalb das Queckſilber von *AB* bis *GH* zurückweichen, hingegen im anderen Schenkel bis *IK* ſteigen. Man denke ſich *GH* und *LM* in einer horizontalen Ebene, bezeichne die Höhe der Säule *GE* mit A, die der Säule *LI* mit a, das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers mit S, das des Weingeiſtes mit s, die Fläche *GH* mit b; ſo iſt der Druck auf *GH* von Seite des Queckſilbers gleich abS, von Seite des Weingeiſtes gleich Abs und man hat $abS = Abs$, mithin $a : A = s : S$.

153. Daß jeder Punct der Seitenwand eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes *ACB* (Fig. 57) einen Druck erleidet, erſieht man leicht aus 149. Die Größe dieſes Druckes richtet ſich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theils unter der Oberfläche der Flüſſigkeit *AB*. Deshalb wird der Druck auf *E* durch die Säule *GE*, der auf *F* durch die Säule *HF* gemeſſen. Ein Stück der Seitenwand von der Höhe *HF—GE* und einer beliebigen Breite wird alſo durch eine Säule gedrückt, deren Baſis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe größer als *GE* und kleiner als *HF* iſt, überhaupt aber mittelſt Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann. Man ſieht leicht ein, daß dieſer und der Satz 151 nur Zweige eines allgemeinen Satzes über die Größe des Druckes nach irgend einer Seite ſind. — Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorſchriften für die Anlegung der Dämme, Schleußen u. d. m. ab. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Beſtreben, ſich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen, es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberſtehender Theil einer hinlänglich feſten Wand ein gleiches Beſtreben nach entgegengeſetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Öffnung an, ſo findet daſelbſt kein Druck mehr Statt und der gegenüberſtehende Theil der Seitenwand muß ſich fortbewegen. Dieſes zeigt die Erfahrung am Segner'ſchen Rade. Dieſes beſteht aus einem verticalen, cylindriſchen Gefäße (Fig. 58.), das um eine verticale Axe beweglich iſt und unten zwei oder mehrere rechtwinkelige, ſeitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat.

154. Befindet ſich ein fremdartiger Körper in einer Flüſſigkeit, ſo erleidet er denſelben Druck nach allen Seiten, den die Flüſſigkeit an ſeinem Platze erleiden würde. Der Druck ſeitwärts

wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht des Theils der Flüſſigkeit, welcher durch den eingetauchten Körper verdrängt wurde. Man denke ſich im Gefäße *ACB* (Fig. 57), welches bis *AB* voll iſt, ein Stück der Flüſſigkeit *abcd*, das übrigens jede andere Geſtalt haben könnte. Dieſes wird abwärts durch eine Säule von der Höhe *ae*, aufwärts durch eine Säule von der Höhe *ce* gedrückt; da aber $ce > ae$ und *abcd* doch im Gleichgewichte iſt, ſo muß die Summe aus dem Gewichte dieſes Stückes, und dem Drucke der Säule *ae*, dem Drucke der Säule *ce* gleich kommen. Das Gewicht des Stückes *abcd* iſt in ſeinem Schwerpuncte vereinigt; durch dieſen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Dasſelbe, was hier mit dem Stücke der Flüſſigkeit *abcd* geſchieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in die Flüſſigkeit getaucht iſt und das Volumen *abcd* hat, gelten. Man kann deshalb von jedem in eine Flüſſigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf ſeine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Reſultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunct der aus ihrem Raume verdrängten Flüſſigkeit geht und immer gleich iſt dem Gewichte dieſer Flüſſigkeit. — Eine natürliche Folge des Vorhergegangenen iſt, daß jeder ſchwere Körper in einer Flüſſigkeit ſo viel von ſeinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüſſigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüſſigkeit unter demſelben Volumen p; ſo iſt ſein Gewicht in der Flüſſigkeit $P-p$. So lange $P>p$, ſinkt er in der Flüſſigkeit zu Boden; wenn $P=p$, verhält er ſich in ihr, wie eine ſchwerloſe Maſſe; iſt aber gar $P<p$, ſo ſteigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht iſt, unter deſſen Volumen die Flüſſigkeit ſo viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es iſt klar, daß P und p als Gewichte unter demſelben Volumen in demſelben Verhältniſſe zu einander ſtehen, wie die ſpecifiſchen Gewichte des eingetauchten Körpers und der Flüſſigkeit.

155. Damit ein Körper in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſtehe, wird erfordert: 1) daß ſein Gewicht dem der verdrängten Flüſſigkeit gleich ſey, 2) daß der Schwerpunct der Flüſſigkeit und der Schwerpunct des eingetauchten Körpers in derſelben verticalen Linie liegen. Vermöge der erſten Bedingung kann er nicht ſteigen oder ſinken, vermöge der zweiten kann er ſich nicht drehen. Man

kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine Lage gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt iſt; in dieſe Lage wird er ſich daher von ſelbſt verſetzen. In Betreff der erſten Bedingung kann man auch mit Gewißheit behaupten, daß ſie nur bei Körpern Statt findet, deren ſpeciſiſches Gewicht nicht größer als jenes der Flüſſigkeit iſt. Wenn der Schwerpunct eines, in eine Flüſſigkeit getauchten Körpers unterhalb des Schwerpunctes der verdrängten Flüſſigkeit liegt, ſo ſchwimmt er mit Stabilität; liegt ſein Schwerpunct oberhalb desſelben, ſo hat er keine Stabilität, ſondern es kann ihn die kleinſte Verrückung umſtürzen und bleibend in eine andere Lage bringen. Man kann ſich davon leicht überzeugen, wenn man bedenkt, daß ein ſchwimmender Körper eigentlich durch zwei parallele Kräfte im Gleichgewicht erhalten wird, wovon eine aufwärts wirkt und im Schwerpuncte der verdrängten Flüſſigkeit ihren Angriffspunct hat, die andere aber abwärts zieht und vom Schwerpuncte des eingetauchten Körpers ausgeht.

156. Zwei oder mehrere Flüſſigkeiten können ſich in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte ſtehen, wie immer ihre ſpeciſiſchen Gewichte beſchaffen ſeyn mögen; Stabilität haben ſie aber nur, wenn ſie ſich nach der Ordnung ihrer ſpeciſiſchen Gewichte über einander befinden und die ſpeciſiſch ſchwerſte den unterſten Platz einnimmt. Darum kann man in einer engen Glasröhre Waſſer, ja ſogar Queckſilber über Luft erhalten, ſo lange keine Erſchütterung eintritt; darum erhebt ſich Wein im Waſſer durch den geringſten Stoß; in der ſogenannten Elementarwelt reihen ſich die Maſſen nach ihrem ſpeciſiſchen Gewichte über einander. Hierauf beruht auch die Waſſerwage. Daher kommt es auch, daß in einer Waſſermaſſe blos durch eine verſchiedene Temperatur verſchiedener Stellen eine Bewegung entſteht, die man mit Vortheil zum Erwärmen von Treibhäuſern ꝛc. anwendet. (Zeitſch. 7. 224; 8. 456.)

Die Waſſerwage beſteht aus einer cylindriſchen Röhre (Fig. 59), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllt und luftdicht verſchloſſen iſt. Gewöhnlich wird ſie durch Stützen getragen, die eine gleiche Länge haben, wohl auch mittelſt Stellſchrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Baſis horizontal, ſo hat die Mitte der Röhre den höchſten Stand, und die Mitte der Luftblaſe fällt mit ihr zuſammen; wird die Baſis aber aus der hori-

zontalen Lage verrückt, ſo geht auch die Luftblaſe näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Waſſerwage, um eine Ebene horizontal zu ſtellen, oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal ſey oder nicht.

157. Man begreift aus dem Vorhergehenden leicht, daß ſich die erſte von den in 155 erwähnten Bedingungen auch für Körper erreichen läßt, die in ihrem natürlichen Zuſtande ſpecifiſch ſchwerer ſind als die Flüſſigkeit, in der ſie ſchwimmen ſollen, indem man ſie ſo ſehr verkleinert, daß ſie den Widerſtand der Flüſſigkeit nicht überwinden können, oder indem man ſie aushöhlt oder mit anderen Körpern verbindet, die ſpecifiſch leichter ſind als dieſe Flüſſigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Waſſer, die Einrichtung unſerer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fäſſer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder verſunkene Waaren aus dem Waſſer zu heben, das Schwimmen der Fiſche, der karteſianiſche Taucher u. ſ. w.

Iſt z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmeſſer R, deſſen ſpecifiſches Gewicht S größer iſt als das des Waſſers σ; ſo kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil ſeiner Maſſe iſt, der weggenommen werden muß, damit er im Waſſer ſchwimme. Denn das Gewicht dieſes Körpers iſt $4/3\, R^3 S\pi$, das des Waſſers unter demſelben Volumen $4/3\, R^3 \sigma\pi$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmeſſer der wegzunehmenden Maſſe r, mithin $4/3\, r^3 S\pi$ das Gewicht derſelben; ſo wird obige Kugel ſchwimmen, wenn

$$\tfrac{4}{3}R^3 S\pi - \tfrac{4}{3}r^3 S\pi = \tfrac{4}{3}R^3\sigma\pi \text{ oder } r = R\sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)} \text{ iſt.}$$

Soll ein Körper ſtatt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem ſpecifiſch leichteren zum Schwimmen gebracht und das nöthige Gewicht des letzteren beſtimmt werden; ſo nenne man ſein abſolutes Gewicht P, ſein ſpecifiſches S; eben dieſe Bedeutung mögen p und s für den ſpecifiſch leichteren haben, während σ das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bedeutet. Da der Körper ſchwimmen wird, wenn ſein Gewicht ſammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Waſſers gleich iſt; ſo hat man:

$$\left(\frac{P}{S} + \frac{p}{s}\right)\sigma = P + p \text{ oder } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma - s)}.$$

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künſtliche des Menſchen verwechſeln. Dieſes iſt ein beſtändiges Wehren gegen das Unterſinken mittelſt der Hände und Füße. Der Schwimmer ſtemmt ſich mit den flachen Händen und den Fußſohlen gegen

daſs Waſſer, indem man erſtere ſchnell abwärts bewegt und letztere ſchnell ausſtreckt, hierauf beide zurückzieht und mit der kleineren Fläche das Waſſer durchſchneidet. Weil der Menſch beim Ausathmen die Bruſthöhle verenget, nimmt er einen kleineren Raum ein und ſinkt deshalb leichter; darum iſt es für ſolche, die ins Waſſer fallen, räthlich, den Athem an ſich zu halten. Überdies ſollen ſie ſich hüthen, die Hände aus dem Waſſer zu ſtrecken, weil ſie dabei Gefahr laufen, daß der Kopf untertauche. (Die Kunſt zu ſchwimmen von Oronzio di Bernardi. Weimar 1799.)

158. Ein feſter Körper kann ſich in eine Flüſſigkeit, die ſpecifiſch ſchwerer iſt als er, nur zum Theil eintauchen. Iſt V das Volumen eines Körpers, deſſen abſolutes Gewicht P, deſſen ſpecifiſches S heißt, ferner s das ſpecifiſche Gewicht einer Flüſſigkeit, und $S < s$, v das Volumen des eingetauchten Theils des genannten Körpers; ſo hat man (nach 34) $P = VS$, $P = vs$, mithin $VS = vs$ oder $v : V = S : s$, d. h. das Volumen des eingetauchten Theils verhält ſich zum Volumen des ganzen Körpers, wie das ſpecifiſche Gewicht dieſes Körpers zu dem der Flüſſigkeit. Wird derſelbe Körper in zwei verſchiedene Flüſſigkeiten getaucht, deren ſpecifiſche Gewichte s und s' ſind; ſo findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$, $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$, und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verſchiedene Flüſſigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten ſich verkehrt, wie die ſpecifiſchen Gewichte dieſer Flüſſigkeiten. Sollen zwei Körper, deren abſolute Gewichte P und P' ſind, in zwei Flüſſigkeiten vom ſpecifiſchen Gewichte s und s' ſich um den Theil v eintauchen; ſo hat man $P = vs$, $P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die abſoluten Gewichte verhalten ſich wie die ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeiten. — Es iſt aus 34 klar, daß man ſtatt des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte das der Dichten ſetzen kann und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derſelben Relation zu den Dichten, wie zu den ſpecifiſchen Gewichten ſtehen.

C. Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes feſter und tropfbarer Körper.

159. Die Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes eines Körpers ſcheint dadurch am leichteſten geſchehen zu können, daß man ſein Volumen und ſein abſolutes Gewicht ausmittelt und aus beiden das ſpecifiſche mittelſt der Formel $S = \frac{P}{V}$ (34) berechnet. Allein

der Ausführbarkeit dieſes Verfahrens ſteht in den meiſten Fällen die Schwierigkeit im Wege, das Volumen mit gehöriger Schärfe zu finden. Darum wird es nur bei Flüſſigkeiten manchmal angewendet, weil man für die meiſten mit einem einzigen genau beſtimmten Gefäße ausreicht. Für andere Körper ſucht man nur die Dichte und berechnet das ſpecifiſche Gewicht aus dieſer und dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers, indem man dieſe beiden Größen mit einander multiplicirt. Denn man hat (nach 34) $S:s=D:d$, mithin $S=\frac{D}{d}.s$, wo S und s das ſpecifiſche Gewicht, D und d die Dichte zweier Körper bezeichnen. Iſt s das ſpecifiſche Gewicht, und d die Dichte des Waſſers $=1$, ſo iſt $S=Ds$.

160. Um das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers zu finden, kann man auf zweifache Weiſe verfahren. Man kann einen feſten, im Waſſer unveränderlichen Körper, wie z. B. einen metallenen Cylinder, deſſen Volumen v und deſſen Gewicht in der Luft genau beſtimmt iſt, in reines Waſſer von beſtimmter Temperatur einſenken, daſelbſt abwägen und den Gewichtsverluſt p beſtimmen, den er darin erleidet. Aus dieſen Größen ergibt ſich das ſpecifiſche Gewicht s nach der Formel $s=\frac{p}{v}$. Statt ſo zu verfahren, kann man auch ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Waſſer füllen und beſtimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Iſt dieſes Gewicht wieder gleich p, ſo hat man abermals $s=\frac{p}{v}$.

Auf dem erſteren Wege hat Stampfer (Jahrb. des k. k. polytech. Inſtituts in Wien Bd. 16) das Gewicht eines Wiener-Kubikzolls reinen Waſſers bei 3° R gleich 1.044023 Lth. = 250.56 Gr. gefunden. Demnach wiegt ein K. Fuß 56 Pf. 12 L. 172.18 Gr, ein Eimer (1.792 K. Fuß) 101.02 Pf.; eine W Maß 2 Pf. 16 Loth, 197 Gr.

161. Das ſpecifiſche Gewicht anderer Flüſſigkeiten kann man durch dieſelben Mittel finden, welche man beim Waſſer anwendet. Man kommt aber doch leichter zum Ziele, wenn man zuerſt ihre Dichte ſucht und hieraus (nach 160) ihr ſpecifiſches Gewicht berechnet. Zur Kenntniß der Dichte einer Flüſſigkeit führen mehrere Verfahrungsarten. Man wäge einen feſten Körper, deſſen Gewichtsverluſt p in reinem Waſſer man kennt, in der zu unterſuchenden Flüſſigkeit ſorgfältig ab und beſtimme den darin erlittenen Gewichtsverluſt q. Heißt nun D die geſuchte Dichte, ſo hat man $D:1=q:p$

und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der eingetauchte Körper weder im Waſſer, noch in der zu prüfenden Flüſſigkeit auflöslich ſeyn darf und daß er ſich in beide ganz einſenken muß. In den meiſten Fällen reicht man mit einem ſoliden Glastropfen aus, nur bei der Unterſuchung der Flußſpathſäure muß man zu einer ſilbernen oder bleiernen Maſſe ſeine Zuflucht nehmen. Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende wählen: Man bringe die zu unterſuchende Flüſſigkeit in den einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Waſſer in den anderen, trenne, wenn ſie ſich etwa mit einander zu miſchen geneigt ſind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide gleich indifferente Flüſſigkeit und meſſe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleichgewicht hergeſtellt iſt. Dieſe verhalten ſich verkehrt wie die Dichten der Flüſſigkeiten.

162. Um die Dichte eines feſten Körpers zu beſtimmen, findet man zuerſt ſein abſolutes Gewicht P im leeren Raume und hierauf ſeinen Gewichtsverluſt Q in einer Flüſſigkeit von bekannter Dichte, die ihn nicht angreift. Iſt wieder D die Dichte des zu unterſuchenden Körpers, d die der Flüſſigkeit; ſo hat man (158) $D : d = P : Q$ oder $D = \frac{P}{Q} d$. Für $d = 1$ wird $D = \frac{P}{Q}$. Das geſuchte ſpecifiſche Gewicht erhält man dann durch Multiplication der Größe D mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers.

163. Um einen Körper der angezeigten Methode gemäß in einer Flüſſigkeit abzuwägen, bedient man ſich einer eigens dazu eingerichteten Wage, die hydroſtatiſche Wage heißt, und ſich von einer ſehr empfindlichen und genauen Schalwage nur dadurch unterſcheidet, daß eine ihrer Schalen an kürzeren Schnüren hängt und unten einen Haken hat, an dem der feſte Körper mittelſt eines feinen Drahtes aufgehängt wird. Daß man auf den Gewichtsverluſt des Drahtes, auf die Temperatur des zu unterſuchenden und des Hilfskörpers Rückſicht nehmen und überhaupt die 109 empfohlene Abwägungsmethode anwenden muß, wenn die Reſultate genau ſeyn ſollen, verſteht ſich von ſelbſt. Gepulverte Körper wiegt man auf einer gläſernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverluſt in einer gegebenen Flüſſigkeit ſchon vorläufig bekannt ſind. Sollte der Körper ſpecifiſch leichter ſeyn als die Flüſſigkeit, in der man ihn abwägen will; ſo ſpannt man ihn in eine Zange ein, und

wägt ihn ſammt derſelben in der Flüſſigkeit, ſchlägt aber nach der Hand vom geſammten Gewichtsverluſte den der Zange ab.

164. Die Dichte der Körper, beſonders der tropfbaren, welche auf dem bekannten Wege zur Kenntniß ihres ſpecifiſchen Gewichtes führt, beſtimmt man oft mit großem Vortheile mittelſt ſogenannter Aräometer (Senkwagen, Dichtemeſſer, Pyknometer, Gravimeter). Es gibt zwei Gattungen Aräometer, nämlich Aräometer mit Scalen, und Aräometer mit Gewichten.

165. Aräometer mit Scalen beruhen auf 158. Man denke ſich ein hohles, am beſten gläſernes Gefäß, etwa wie Fig. 60, welches am unteren Theile *A* ſo belaſtet iſt, daß es im Waſſer mit Stabilität vertical ſteht, und es iſt einleuchtend, daß eine Einrichtung getroffen werden kann, wodurch man aus der Tiefe, bis zu welcher es in eine Flüſſigkeit einſinkt, ihre Dichte erkennt. Deshalb enthält das Stück *ab* eine Scale, deren Theilſtriche die Dichte der Flüſſigkeit angeben, in welcher die Einſenkung bis zu einem derſelben geſchieht. Wo man eine große Schärfe des Reſultates wünſcht, da ſind dieſe Inſtrumente freilich nicht zu empfehlen, wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden iſt, da ſind ſie äußerſt bequem. Sie dienen aber nebſtdem noch zu einem anderen Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemiſchter Flüſſigkeiten, z. B. des Weingeiſtes, der Säuren ꝛc. ändert ſich mit der Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles ſo, daß man, wenn einmal für ein Miſchungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden iſt, in Zukunft umgekehrt von dieſer Dichte auf das Miſchungsverhältniß ſchließen und die Aräometer ſo einrichten kann, daß die Scale ſtatt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles anzeigt. Man heißt ſolche Aräometer Procentenaräometer oder nach Verſchiedenheit der Flüſſigkeit, für welche ſie beſtimmt ſind, Weingeiſt-, Salpeterſäurearäometer u. ſ. w.

Zu dieſer Klaſſe gehören auch jene Aräometer, welche weder die Dichte, noch ein beſtimmtes Miſchungsverhältniß unmittelbar angeben, ſondern deren Scalen in, meiſtens willkürliche, Grade eingetheilt ſind. Unter allen Inſtrumenten dieſer Art haben die von Beaumé den meiſten Zuſpruch erhalten; es iſt daher nothwendig anzugeben, wie Beaumé ſeine Scale beſtimmte. Dieſes geſchah auf zweifache Art, je nachdem er das Inſtrument für Flüſſigkeiten anwenden wollte, die ſpecifiſch leichter oder ſchwerer ſind, als Waſſer. Um die Scale für erſtere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 60, deſſen Spindel *ab* durchaus gleich dick war, in eine Auflöſung von

10 Th. Kochſalz in 90 Th. Waſſer, und fand ſo den unterſten Punct der Scale, hierauf in deſtillirtes Waſſer, um den zweiten höher liegenden Punct der Scale zu finden; den Zwiſchenraum theilte er in 10 gleiche Theile und ſetzte dieſe Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punct des deſtillirten Waſſers bezeichnete er mit 10 und zählte von da auf- und abwärts, ſo weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scale für ſpecifiſch ſchwerere Flüſſigkeiten zu beſtimmen, tauchte er das Inſtrument in deſtillirtes Waſſer, fand ſo den oberſten Punct, hierauf in eine Auflöſung von 15 Theilen Kochſalz und 85 Theilen Waſſer, theilte den Abſtand dieſer zwei Puncte in 15 gleiche Theile, ſetzte zu jenem 0 und übertrug dieſe Eintheilung auf die ganze Spindel. Man ſieht leicht ein, daß dieſe Inſtrumente gar keinen wiſſenſchaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelſt einer Tafel die Beaumé'ſchen Grade in ſpecifiſche Gewichte verwandeln. (Suppl. 918.)

166. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit auch Fahrenheit'ſche genannt, unterſcheiden ſich von den Scalenaräometern dadurch, daß ſie am oberen Ende eine Schale zur Auflegung der Gewichte und an ihrem ſehr dünnen Halſe einen feinen Strich haben, bis zu welchem ſie ſich in jede zu unterſuchende Flüſſigkeit einſenken müſſen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wiſſen, wie viel das Inſtrument ſelbſt wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit es ſich in reines Waſſer bis zum Zeichen am Halſe eintaucht. Es ſey jenes P, dieſes p. Will man die Dichte d einer Flüſſigkeit finden; ſo ſenkt man es darein und legt ſo lange Gewichte zu, bis die Einſenkung gehörig weit geſchieht. Heißt dieſes Gewicht p', ſo iſt $d = \frac{P+p'}{P+p}$, weil $P+p : P+p' = 1 : d$ iſt. Nicholſon erweiterte den Gebrauch dieſes Inſtrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale verſah. Ein ſo eingerichtetes Aräometer (Fig. 61) kann man auch zur Beſtimmung der Dichte feſter Körper brauchen, deren Gewicht das Auflegegewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Inſtrument in reines Waſſer, legt anfangs den zu unterſuchenden Körper A ſammt ſo viel Gewichten, als zur gehörigen Einſenkung nöthig ſind, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und ſetzt dafür Gewichte zu; ſo weiß man das abſolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Waſſer befindliche Schale; ſo werden die Gewichte, die zur gehörigen Einſenkung des Inſtru-

mentes nöthig ſind, den Gewichtsverluſt von A im Waſſer anzeigen. Aus dem abſoluten Gewichte und dem Gewichtsverluſte im Waſſer findet man (nach 162) das ſpecifiſche Gewicht.

Siehe hierüber: Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien, 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemiſten und Technologen. Wien, 1820. Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wiſſenſchaft und Kunſt von Brandes. Hannover, 1827. 2. Bd. I. Abth. S. 552—630; wohl auch Gehler's phyſ. Wörterb. neu bearbeitet. Art. Aräometer. Über die bei ſolchen Beſtimmungen nöthigen Vorſichten, Correctionsformeln und ferneren Hilfsinſtrumente ſiehe Suppl. S. 60—87.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Platin geprägt	21.343	Lava	2.795—2.823
„ gehämmert . .	21.314	Serpentin . . .	2.560—2.684
Platindraht	19.267	Kreide	1.797
Platinſand	15.601	Perlen	2.750
Gold gehämmert . . .	19.361	Spiegelglas . . .	2.370—2.450
„ gegoſſen	19.258	Flintglas . . .	3.15—3.329
Queckſilber gefroren . .	15.612	Eis	0.885
„ bei 0° R. . .	13.598	Buxbaumholz	1.33
Blei	11.352	Mahagonyholz	1.06
Silber gehämmert . .	10.511	Pflaumenholz	0.785
„ gegoſſen . . .	10.474	Birnbaumholz	0.755
Wismuth gegoſſen . .	9.822	Lindenholz	0.604
Kupfer gehämmert . .	9.000	Korkholz	0.240
Kupferdraht	8.878	Alkohol	0.791
Zinn, engliſches, gegoſſen	7.291	Schwefeläther	0.717
Stahl	7.810—7.833	Bor	1.480
Schmiedeeiſen	7.788	Phosphor . . .	1.770—1.821
Roheiſen	7.207—7.205	Schwefel	2.072
Zink gehämmert . . .	7.861	Selen	4.300
„ gegoſſen	7.190	Jod	4.948
Saphir blau	3.909	Flußſäure	1.061
Zirkon	4.416	Salzſäure conc. . . .	1.200
Hyacinth	4.505	Chlorige Säure . . .	1.300
Topas	3.499	Salpeterſäure	1.500
Granat edler . .	4.098—4.208	Schwefelſäure	1.850
„ gemeiner . . .	3.769	Phosphorſäure	2.687
Smaragd . . .	2.678—2.775	Ammoniak flüſſ. . . .	0.875
Bergkryſtall . . .	2.650—2.670	Kalihydrat	1.708
Glimmer	2.654—2.985	Natrumhydrat	1.536

D. Geſetze des Gleichgewichtes ſchwerer, zuſammendrückbarer, adhärirender Flüſſigkeiten.

167. Befindet ſich eine tropfbar flüſſige Maſſe frei in einem Raume, ſo muß für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft, welche von Außen auf dieſelbe wirkt oder die jedem einzelnen Theilchen zukommt, durch eine entgegengeſetzte aufgehoben werden. Dieſes kann aber nur ſeyn, wenn die Maſſe die Geſtalt einer Kugel hat. Sobald dieſe Maſſe auch noch von anderen Kräften afficirt wird, ſo wird ſie die Kugelform deſto mehr verlieren, je mehr dieſe Kräfte gegen die den Theilchen der Flüſſigkeit eigenen vorwalten. Deshalb erſcheinen uns auch kleine tropfbare Maſſen in Geſtalt kugelförmiger Tropfen, verlieren aber dieſe Geſtalt, ſobald ſie auf einen Körper kommen, zu dem ſie eine Adhäſion haben, oder ſobald durch zu große Anhäufung der Maſſe der Druck der oberen Theile die unteren zu einer Seitenbewegung zwingt.

168. Da tropfbare Flüſſigkeiten elaſtiſch ſind (143) und von den zwei Molecularkräften die abſtoßende das Übergewicht hat (145), ſo muß jede unendlich dünne Schichte im Inneren einer ſolchen Flüſſigkeit durch die Abſtoßung der angrenzenden Theile zuſammengedrückt werden, und man kann ſich die Sache ſo vorſtellen, als wenn ſich die genannte Schichte an die einerſeits befindliche Flüſſigkeit anſtemmte und von der andererſeits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compreſſion hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüſſigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der kleinſten Theile gleich iſt und die Compreſſion iſt demnach für alle Schichten gleich groß, welche eine ſolche Lage haben, wenn man von der geringen Compreſſion, die von der Schwere herrührt und ſich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, abſieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüſſigen Maſſe ſeyen alle Theile in einem gleichen Zuſtande der Compreſſion. Die an der Oberfläche befindlichen Theile ſtehen nur unter dem Druck der äußeren, zum Beſtehen des flüſſigen Zuſtandes nöthigen Kraft, und wenn dieſe blos die zur Überwältigung der abſtoßenden Molecularkraft nöthige Stärke hat, ſo ſind dieſe Theile gar nicht zuſammengedrückt. Die zunächſt unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden ſchon eine geringe-

re Compreſſion, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und ſo kommt es, daß die Dichte der Flüſſigkeit von Außen nach Innen bis zu einer allerdings nur ſehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Geſetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände iſt die Dichte der Flüſſigkeit aus ähnlichen Gründen von der im Inneren verſchieden. Wirken dieſe Wände nicht auf die flüſſigen Theile, ſo verhalten ſich die letzteren ſo wie an der freien Oberfläche, wirken ſie auf dieſelben, ſo modificiren ſie das Geſetz der Dichte, und können ſogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewiſſen Entfernung abnimmt und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verſchiebbarkeit verlieren. Taucht man z. B. einen Glasſtab in Waſſer, ſo bleibt beim Herausziehen eine zwar an und für ſich ſehr dünne, aber gegen den Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der Theile doch noch ſehr dicke Schichte der Flüſſigkeit daran hängen und erhält ſich, wenn man auch dem Stabe eine verticale Richtung gibt, wo doch ſehr leicht verſchiebbare Theile durch den Zug der Schwere zum Hinabgleiten beſtimmt werden müßten. Selbſt an der freien Oberfläche ſind die Theile wegen der nach einwärts ſich ändernden Dichte nicht ſo verſchiebbar, wie im Inneren, wo rings um jedes Theilchen alles gleich iſt, und es verhält ſich daſelbſt die Flüſſigkeit ſo, als wäre ſie mit einem feinen Häutchen überzogen. Daher kommt es auch, daß ſelbſt kleine Körper, die ſpecifiſch ſchwerer ſind als Waſſer, wie feine Bleche, Nadeln, auf demſelben ſchwimmen, ſo lange ſie nicht übernetzt ſind und ſich nicht gleichſam unter dem oberflächlichen Häutchen befinden; ſo wie eine Übernetzung eingetreten iſt, fallen ſie ſchnell in der Flüſſigkeit zu Boden.

169. Bekanntlich haben im Gleichgewichte befindliche Flüſſigkeiten nicht immer eine ebene Oberfläche, wie ſie die Schwere in kleineren Gefäßen hervorzubringen ſucht (148), ſondern dieſelbe iſt oft convex oder concav. Die Erfahrung lehrt, daß eine convexe Oberfläche eintritt, wenn die Flüſſigkeit das Gefäß nicht benetzt, wo ſie dieſes hingegen thut, eine concave. So hat Queckſilber in einem engen Glasgefäße eine convexe, in einem Zinngefäße eine concave, Waſſer in einer reinen Glasröhre eine concave, in einer mit Fett überzogenen eine convexe Oberfläche. Selbſt in einem weiten reinen Glasgefäße erhebt ſich Waſſer an den Wänden und krümmt ſich aufwärts; wenn aber das Gefäß ganz voll iſt und man deßungeachtet noch etwas zugießt, ſo hebt ſich daſſelbe über den

Rand des Gefäßes mit einer convexen Oberfläche. Taucht man eine reine Glasplatte in Waſſer, ſo hebt dieſes ſich zu beiden Seiten des Glaſes mit einer eigenen Krümmung. Es iſt klar, daß dieſe Phänomene von den Molecularkräften herrühren, man kann aber auch beweiſen, daß ſie nur bei einer Flüſſigkeit Statt haben können, deren Dichte ſich von der äußerſten Schichte nach einwärts ſchnell ändert und daß daher völlig unzuſammendrückbare Flüſſigkeiten ſtets eine horizontale Oberfläche haben müßten.

170. Die Geſtalt der Oberfläche einer Flüſſigkeit und die Verſchiedenheiten in der Dichte ihrer äußerſten Schichte begründen eine beſondere Wirkung der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt. Um dieſe kennen zu lernen, ſey *ABCD* (Fig. 47) eine tropfbare Maſſe, deren Oberfläche im Zuſtande des Gleichgewichtes eben iſt, man denke ſich im Inneren eine unendlich dünne Säule *GH* und nehme in derſelben ein Theilchen *m* an, deſſen Entfernung von der Oberfläche *AB* geringer iſt, als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der Flüſſigkeit. Zieht man unterhalb dieſes Theilchens die Ebene *EF*, die von *m* eben ſo weit abſteht, wie *AB*; ſo üben offenbar alle innerhalb *AB* und *EF* liegenden Theile der Säule *GH* gleiche und entgegengeſetzte Wirkungen auf *m* aus und dieſe heben ſich daher auf. Allein die unter *EF* liegenden Theile können ihre Wirkung auf *m* ungeſtört ausüben, und von dieſen hängt daher auch die Wirkung der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt ab; doch wird man aus allen dem noch nicht einſehen, ob die aus den Wirkungen aller Theile hervorgehende abſtoßend oder anziehend ſeyn wird. Man nenne ſie *P*, ohne darum zu fragen, ob ſie einwärts oder auswärts ziehend iſt. Man denke ſich nun von der Maſſe *ABCD* (Fig. 48) den Meniskus *AEFB* weggenommen ſo, daß ſie mit einer Convexität aufhört, welche von *AB* im Puncte *G* berührt wird. Kennt man die Wirkung dieſes Meniskus auf die übrige Maſſe, ſo darf man ſie nur von *P* wegnehmen, um die Wirkung der von einer Convexität begrenzten Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt zu erhalten. Die Wirkung dieſes Meniskus auf *G* iſt aber anziehend, weil derſelbe an der Stelle, wo ſeine Theile nahe genug an *G* liegen, um abſtoßend darauf zu wirken, zu dünn iſt, und wo er dick genug, mithin der wirkenden Theile hinlänglich viele ſind, da hat ſchon die Anziehung über die Abſtoßung das Übergewicht. Es ſey nun *m* ein Theilchen des Meniskus, deſſen Entfernung von *G* kleiner iſt, als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre, man ziehe *mG* und dann *mn* ſo, daß *Gmn* ein gleichſchen-

keliges Dreieck wird. Nun übet m auf G eine Wirkung aus, die ſich in zwei zerlegen läßt, wovon eine einwärts, die andere parallel mit AB von der Säule GH gegen die Wand BD hinzieht. Auf gleiche Weiſe läßt ſich die Wirkung von m auf n in eine auswärts gehende und in eine mit AB parallele Kraft zerlegen. Die beiden erſteren heben ſich einander auf und die beiden letzteren werden durch zwei entgegenwirkende Kräfte aufgehoben, die ein ähnlich liegendes Theilchen auf der entgegengeſetzten Seite des auf der Oberfläche ſenkrechten Canals GH ausübet. Was von G und n bewieſen iſt, das gilt von jedem Theilchen, das zwiſchen den Schenkeln des Dreieckes Gmn liegt; m wirkt aber auch auf die unter n liegenden Theile, indem es ſie auswärts zieht, und dieſe Wirkung wird nicht mehr durch eine Gegenwirkung aufgehoben. Es wird daher die Geſammtwirkung von m darin beſtehen, die Theile der Säule GH auswärts zu ziehen und deshalb wird auch die Wirkung des ganzen Meniskus auswärts ziehend ſeyn. Heißt die Wirkung des Meniskus $-Q$ (wo das Zeichen $-$ die Wirkung nach auswärts anzeigt), ſo iſt die Wirkung einer convex ſich endigenden Flüſſigkeit $= P - (-Q) = P + Q$. Würde der Oberfläche AB der Meniskus $KABL$ zugeſetzt, ſo bekäme ſie eine concave Oberfläche, und die Wirkung der Flüſſigkeit auf die Säule GH wäre dann gleich P, mehr der Wirkung des zugeſetzten Meniskus. Macht man GO mit mn parallel und gleich, ſo wirkt das in O befindliche Theilchen auf die unter G liegenden gerade ſo, wie m auf die unter n befindlichen, mithin auswärts ziehend. Es wird alſo die Wirkung des Meniskus $KABL$ in einem Zuge nach auswärts beſtehen. Nennt man ihn wie vorhin $-Q$, ſo muß die Wirkung auf die Säule GH ſeyn $= P + (-Q) = P - Q$.

171. Von der hier betrachteten Einwirkung rühren die an Haarröhrchen bemerkbaren Erſcheinungen (Capillaritätsphänomene) her. Man nennt nämlich Röhrchen, deren innerer Durchmeſſer ſehr klein iſt, wenn er ſich auch nur von weitem der Dicke eines Haares nähert, Haarröhrchen. Taucht man ein ſolches Röhrchen von reinem Glaſe in ein mit Waſſer angefülltes Gefäß, ſo ſteigt dieſes im Inneren des Röhrchens gegen das in 150 erwieſene Geſetz über die Fläche des äußeren Waſſers. Dasſelbe geſchieht auch mit jeder anderen Flüſſigkeit, die das Material des Röhrchens benetzt, während eine ſolche, bei welcher dieſer Umſtand nicht eintritt, im Röhrchen unter der äußeren Flüſſigkeit zurückbleibt, wie z. B. Queckſil-

ber in Glas. Dieſe Erſcheinungen finden im luftleeren Raume eben ſo, wie in der Luft Statt, ſind alſo von der Einwirkung der Luft ganz unabhängig. Die Höhe, um welche die Säule der Flüſſigkeit im Röhrchen die äußere übertrifft oder unter ihr zurückbleibt, iſt deſto bedeutender, je kleiner der Durchmeſſer des Röhrchens iſt, übrigens aber bei derſelben Flüſſigkeit unabhängig von der Dicke der Röhrchenwand, der Größe des eingetauchten Stückes, von der Länge des Röhrchens, wenn dieſe nur nicht kürzer iſt als die gehobene Säule, ja ſelbſt das Material des Röhrchens hat nach den Verſuchen einiger Phyſiker für einerlei Flüſſigkeit keinen Einfluß auf die Länge dieſer Säule, wenn es nur von ihr naß wird und wenn man die Vorſicht gebraucht hat, vor dem Verſuche die innere Wand der ganzen Länge nach gehörig zu befeuchten. Für verſchiedene Flüſſigkeiten iſt die Länge der Säule ſelbſt unter denſelben Umſtänden verſchieden. — Die Wichtigkeit dieſer Erſcheinung zog ſchon früh die Aufmerkſamkeit der Naturforſcher auf ſich, aber die größten Köpfe verſuchten ſich vergebens daran, bis es in der neueſten Zeit gelang, ihre Theorie aus der größten Tiefe der Analyſis zu ſchöpfen und dadurch die Sache nicht blos im Allgemeinen zu erklären, ſondern auch ihr Maß anzugeben und ihre Verbindung mit anderen Erſcheinungen, die man ſonſt für ganz ungleichartig hielt, nachzuweiſen.

172. Es ſey $ABCD$ (Fig. 62) ein Röhrchen, welches bis EF in eine Flüſſigkeit getaucht worden iſt, die außerhalb deſſelben eine ebene Oberfläche GH hat, im Röhrchen aber mit der Krümmung ILK endigt. Man denke ſich in der Axe des Röhrchens die ſehr dünne Säule LM, gebe ihr im Gedanken in M die horizontale Richtung MN, hierauf wieder die verticale NO und unterſuche die Bedingungen des Gleichgewichtes der Säulen ON und LM. Es heiße demnach die Höhe der Säule $ON = a$, jene der Säule $LM = \alpha$, das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit s, die Baſis der drückenden Säulen b, die von Außen auf die Flüſſigkeit wirkende Kraft (in den meiſten Fällen der Luftdruck) p, ferner mögen P und Q die vorhin (171) angenommenen Bedeutungen haben, wo P das Zeichen mit ſich führt. Da iſt nun der Druck der Säule ON gleich $asb + p + P$, jener der Säule LM gleich $asb + p + P \mp Q$, wo das obere Zeichen gilt, wenn die Oberfläche der Flüſſigkeit concav, das untere, wenn ſie convex iſt; mithin für den Fall des Gleichgewichtes $asb + p + P = asb + p + P \mp Q$, oder für den Fall

einer concaven Oberfläche $Q = bs(\alpha - a)$, für den Fall einer converen $Q = bs(a - \alpha)$. Da nun Q als einwärts wirkende Kraft einen poſitiven Werth hat, ſo folgt daraus, daß eine Flüſſigkeit mit converer Oberfläche in einem Haarröhrchen deprimirt, eine mit concaver Oberfläche gehoben werden muß, wie es auch die Erfahrung lehrt. Man kann zeigen, daß die von der Geſtalt der Oberfläche herrührende Wirkung Q durch die Größe $\frac{1}{2} H \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{b'}\right)$ dargeſtellt wird, wenn H eine durch die Natur und Compreſſibilität der Flüſſigkeit beſtimmte Größe, b und b' aber den größten und kleinſten Krümmungshalbmeſſer *) der Oberfläche bedeuten, die übrigens wie immer beſchaffen ſeyn mag. — In cylindriſchen Haarröhrchen kann die Oberfläche der Flüſſigkeit als Kugelfläche angeſehen werden, bei welcher $b = b'$ iſt. Man hat daher bei ſolchen Röhrchen $Q = \frac{H}{b}$; weil aber b dem Halbmeſſer des Röhrchens proportionirt iſt, ſo verhalten ſich die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen verkehrt, wie die Halbmeſſer der Röhrchen, ein Reſultat, welches durch mehrere von Haüy und Tremery angeſtellte Verſuche aufs ſchönſte bekräftiget wird.

Die Halbmeſſer ſolcher Röhrchen kann man ſehr ſcharf dadurch beſtimmen, daß man ſie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Queckſilberſäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht beſtimmt, und ſo aus der Differenz beider Reſultate das Gewicht p der hineingebrachten Queckſilberſäule findet. Hat die Säule die Länge a, ſo iſt ihr Gewicht $ar^2\pi s = p$, wenn r der Halbmeſſer des Röhrchens und s das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers bedeutet. Mithin iſt

$$r = \sqrt{\frac{p}{a\pi s}}.$$

*) Um Anfängern den Werth von b und b' begreiflich zu machen, ſtelle man ſich eine krumme Oberfläche eines Körpers, von was immer für einer Geſtalt vor, und denke ſich im Inneren dieſes Körpers einen unendlich dünnen Canal, der auf irgend einem Puncte der Oberfläche ſenkrecht ſteht. Werden nun durch dieſen Punct nach allen Richtungen Ebenen gedacht, die auf der genannten Oberfläche ſenkrecht ſtehen; ſo ſchneidet jede derſelben die Oberfläche in einer krummen Linie, und man kann ſich für jede dieſer Curven einen Kreis denken, der dieſelbe Krümmung hat, wie ein Element der Curve am Puncte, um den es ſich handelt. Der Halbmeſſer dieſes Kreiſes iſt der Krümmungshalbmeſſer. Man kann beweiſen, daß die zwei Ebenen, in welchen der größte und der kleinſte Krümmungshalbmeſſer liegt, auf einander ſenkrecht ſtehen.

173. Dieſe Theorie läßt ſich auch auf Erſcheinungen anwenden, die mit denen in Haarröhrchen verwandt ſind; ja ſie gibt von ihnen nicht blos allgemeine Erklärungen, ſondern beſtimmt ſie dem Maße nach. Schon Newton hat bemerkt, daß Waſſer zwiſchen zwei nahen, parallelen Wänden nur halb ſo hoch ſteigt, als in einem Röhrchen, deſſen innerer Durchmeſſer der Entfernung der Flächen gleich iſt, ohne dafür eine Erklärung geben zu können. Nach der vorhin entwickelten Theorie iſt die Wirkung eines Haarröhrchens vom obigen Halbmeſſer gleich $\frac{H}{b}$; für zwei parallele Ebenen (wo $b' = \infty$, weil die Oberfläche der Flüſſigkeit längs der Wände nicht gekrümmt iſt) $\frac{1}{2}\frac{H}{b}$, gerade ſo, wie die Erfahrung lehrt. — Mit gleicher Leichtigkeit erſieht man aus der gegebenen Theorie den Grund folgender Erſcheinungen: Taucht man ein gläſernes Röhrchen in Weingeiſt, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit ſich unten ein Tropfen bilde; ſo hat die darin befindliche, ſchwebend erhaltene Säule eine doppelt ſo große Länge, als diejenige, welche ſich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende im Weingeiſte ſtehen bleibt. Gießt man Weingeiſt in eine heberförmige Röhre, wovon ein Arm ein Haarröhrchen bildet, ſo ſteht natürlich die Flüſſigkeit in dieſem höher, als im anderen weiteren Arme; neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin, ſo nimmt der Höhenunterſchied in beiden Armen beſtändig ab, ſo wie die flüſſige Säule vermög der Reibung an den Wänden eine minder concave Oberfläche annimmt. — Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem ſehr ſpitzigen Winkel zuſammen und tauchet ſie ſo, daß ihre Vereinigungslinie vertical ſtehet, in Waſſer; ſo erhebt ſich dieſes, und die Endpuncte der gehobenen Maſſe bilden eine Hyperbel. — Hält man ein coniſches, beiderſeits offenes Röhrchen ſo, daß ſeine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Öffnung eine kleine Säule von Waſſer hinein; ſo bewegt ſich dieſe Säule gegen die kleine Öffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es läßt ſich hier ſogar der nöthige Neigungswinkel berechnen. — In die Reihe der Capillaritätsphänomene ſcheinen auch jene zu gehören, welche Dutrochet mit den Namen Endosme und Exosme belegt hat und die im Weſentlichen darin beſtehen, daß zwei an Dichte und chemiſcher Natur verſchiedene

Flüſſigkeiten, welche durch eine dünne, durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Blaſe, von einander getrennt ſind, durch dieſe Scheidewand in zwei entgegengeſetzten Strömen mit einander in Communication treten, ſo daß eine der zwei Flüſſigkeiten über ihr Niveau emporſteigt. (Dutrochet in Pogg. Ann. 11. 138, Poiſſon ebend. 134. Fiſcher ebend. 126. Schweigger in Schweigg. J. 58. 1. Wach ebend. 58. 20.) — Auch die Wirkung einer Flüſſigkeit auf die Wände eines Körpers, der ſie einſchließt, ergibt ſich aus dieſer Theorie; denn ſind *ACBD* (Fig. 62) zwei feſte Wände, zwiſchen welchen eine Flüſſigkeit bis *PRQ* geſtiegen iſt, während ſie außerhalb derſelben bis *EF* reicht; ſo iſt klar, daß alle Puncte dieſer Wände von *P* bis *C* und von *Q* bis *D* von der Flüſſigkeit gleich ſtark nach entgegengeſetzten Seiten gedrückt werden; die Puncte oberhalb *P* und *Q* erleiden aber von den Theilen der Flüſſigkeit einen Druck gegen einander, ohne von Innen durch einen Gegendruck im Gleichgewichte erhalten zu werden. Sind daher dieſe Wände leicht beweglich, ſo müſſen ſie ſich einander nähern. Daſſelbe muß auch Statt finden, wenn die Flüſſigkeit zwiſchen den Wänden bis *IK* geſtiegen iſt, wiewohl man auf den erſten Blick das Gegentheil vermuthen ſollte. Die Puncte der Wände von *C* bis *E* und von *D* bis *F* erleiden zwar nach Außen und nach Innen einen gleichen Druck, aber jeder Theil derſelben oberhalb *EF*, z. B. *a*, wird nach Innen gedrückt, ohne einen Gegendruck zu erleiden. Denn man denke ſich *a* mit *LR* durch den Canal *ac* verbunden, und man wird einſehen, daß *c* mit der Kraft $\frac{H}{b}$ aufwärts gezogen wird (172), welche dem Drucke einer flüſſigen Säule von der Länge *LS* gleich kommt, abwärts hingegen durch den Druck der Säule *Lc*. Die Reſultirende beider iſt ein Zug nach aufwärts, welcher der Säule $LS - Lc = Sc$ entſpricht. Gleichwie nun ein auf *c* abwärts ausgeübter Druck einen eben ſo großen Seitendruck nach der Richtung *ca* hervorbringt (141), eben ſo muß der auf *c* aufwärts ausgeübte Druck einen Seitendruck auf *a* nach der Richtung *ac* verurſachen. Es wird daher *a* mit einer Kraft einwärts gezogen, welche dem Drucke einer flüſſigen Säule von der Länge *Sc* entſpricht. Da dieſes eben ſo mit jedem anderen Puncte der Seitenwand *EI* der Fall iſt, und nur die Intenſität, nicht die Richtung der Kraft, von Punct zu Punct ſich ändert, ferner, da für die Wand *FK* daſſelbe gilt, was von *EI* bewieſen iſt; ſo müſ-

ſen beide Wände einen Druck nach einwärts erleiden, und ſich daher, wenn ſie beweglich ſind, einander nähern.

Auf dieſer Wirkung der Capillarität beruht der ſtarke Zuſammenhang zwiſchen zwei etwas angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zuſammengeſchobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die mit flüſſigem Fett überſtrichen und hierauf der Kälte ausgeſetzt werden, damit das Fett ſtocke (Muſſchenbroek's Cylinder); ferner das Zuſammenbacken feiner, feuchter Erdtheile zu einer ſoliden Maſſe (Sandſtein), die Schwierigkeit, naſſe Papierblättchen von einander zu trennen. Es ſcheint dieſer Umſtand überhaupt beim Feſtwerden der Körper eine große Rolle zu ſpielen. Hierin liegt auch der Grund, warum ſich zwei Kügelchen, die beide vom Waſſer benetzt werden oder die beide unbenetzt bleiben, einander bis zur Berührung nähern, wenn man ſie in geringer Entfernung von einander auf eine Waſſerfläche bringt, und warum ſich unter denſelben Umſtänden zwei andere von einander entfernen, deren eines vom Waſſer benetzt wird, das andere aber trocken bleibt.

174. Aus der Anziehung in Haarröhrchen erklären ſich mannigfaltige Erſcheinungen, z. B. das Durchſeihen der Flüſſigkeiten durch poröſe, feſte Körper, wie Löſchpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode, den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde ſteht; das Aufziehen des Weingeiſtes, Öhles ꝛc. in die Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens. Das Wegnehmen eines Tropfens mittelſt Löſchpapier, das Abwiſchen des Schweißes geſchieht durch Capillarität. In die Gefäße organiſcher Körper kann eine Flüſſigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation geſetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität ſey, erſieht man daraus, daß man mittelſt derſelben Mühlſteine losſprengen kann, daß ſich Stricke, die durch bedeutende Gewichte geſpannt ſind, durch ſie verkürzen, wenn ſie naß werden ꝛc. (*Théorie de l'action capillaire par M. La Place. Paris*, 1806. Im Auszuge in Gilb. Ann. B. 33. *Nouvelle théorie de l'action capillaire. Par S. D. Poisson. Paris*, 1831.)

Sechſtes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern (Aeroſtatik).

175. Ausdehnſame Körper haben mit den tropfbar flüſſigen die abſolut leichte Verſchiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterſcheiden ſich aber von ihnen durch ihre Zuſammendrückbarkeit und ihr Beſtreben, immer ein größeres Volumen einzunehmen, d. h. durch ihre Ausdehnſamkeit. Bei ausdehnſamen Körpern hat wie bei tropfbaren die abſtoßende Kraft der kleinſten Theile das Übergewicht über ihre anziehende; der Unterſchied zwiſchen beiden liegt nur darin, daß bei tropfbaren die reſultirende Abſtoßung nur ein kleiner Theil der anziehenden und abſtoßenden Kräfte der kleinſten Theile iſt, während bei ausdehnſamen die Abſtoßung ein ſo entſchiedenes Übergewicht hat, daß die anziehende Kraft dagegen ganz verſchwindet. (Nähere Aufklärung hierüber in der Wärmelehre.) Alle Geſetze des Gleichgewichtes dieſer Körper gehen aus dem Verhältniſſe ihrer Ausdehnſamkeit zur Schwere und Adhäſion hervor, daher man auch dieſe Eigenſchaften und ihr Verhältniß zu einander vor der Erörterung jener Geſetze kennen lernen muß.

A. Schwere und Ausdehnſamkeit der Gaſe.

176. Wenn man eine etwa drei Fuß lange, 1 — 2 Linien weite, an einem Ende verſchloſſene Glasröhre mit Queckſilber füllt, ſie dann ſorgfältig umwendet und mit dem offenen Ende vertical in ein anderes Gefäß mit Queckſilber ſtellt; ſo wird das in der Röhre befindliche ungefähr bis auf 28 Zoll herabſinken und in dieſer Höhe ſchweben bleiben. Daß dieſes nicht durch eine Adhäſion erklärt werden könne, läßt ſich ſchon aus der erhabenen Oberfläche des Queckſilbers im Glaſe vermuthen, ja ſogar augenſcheinlich zeigen, indem es alſogleich bis zu einer, den hydroſtatiſchen Geſetzen entſprechenden Höhe herabſinkt, ſobald man die Röhre oben öffnet. Dasſelbe läßt ſich auch mit Waſſer bewirken, nur wird die Waſſerſäule 32 Fuß hoch, mithin gerade im Verhältniſſe der ſpecifiſchen Gewichte des Queckſilbers und Waſſers größer ſeyn. Es muß daher auf das offene Ende der Röhre ein Druck ausgeübt werden, der wohl nur der Luft zugeſchrieben werden kann. Die erwähnte Röhre heißt man die Torricelliſche Röhre, den über dem Queckſilber

entſtehenden, leeren Raum Torricelliſche Leere, weil Torricelli dieſen Verſuch zuerſt anſtellte.

Zu dieſem Verſuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlaſſung, die das Waſſer mittelſt einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Es würde ihnen dieſes gar nicht aufgefallen ſeyn, wenn man nicht allenthalben der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeſchrieben hätte, der doch bei ihrem Verſuche zwiſchen dem Waſſer und dem Kolben der Pumpe entſtanden war. Sie wendeten ſich an den berühmten Galiläi, um in ihrer phyſikaliſchen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erſt ſeinem Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Urſache dieſer Erſcheinung (im J. 1643) aufzudecken.

177. Es iſt klar, daß die Torricelliſche Röhre nicht allein den Druck und die Schwere der Luft beweiſet, ſondern erſteren auch mißt. Deshalb heißt man eine ſolche Röhre, wenn ſie mit einer Scale verſehen iſt, welche die Höhe der Queckſilberſäule, die der Erfahrung gemäß nicht immer dieſelbe bleibt, angibt, Barometer (Druckmeſſer). Soll ein Barometer gut und zu genauen Beobachtungen brauchbar ſeyn; ſo muß die Röhre, wenigſtens um das Ende der Queckſilberſäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie ſeyn, eine gute, in Zoll und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einen Nonius haben. Das Queckſilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet ſeyn, und in der Röhre ſelbſt ſo lange gekocht werden, bis ſich ſelbſt während des Kochens keine Luftblaſe mehr zeigt; doch hat man dabei beſondere Sorge zu tragen, daß ſich ja während des Kochens kein Queckſilberoxyd bildet, welches mit dem metalliſchen Queckſilber eine Maſſe bildet, die ſich an das Glas anhängt und ganz andere Capillaritätsverhältniſſe befolgt, als reines Queckſilber. Es dürfte darum räthlich ſeyn, in die mit Queckſilber gefüllte, aufgeſtellte Röhre eine ſtarke Waſſerſtoffgasblaſe aufſteigen zu laſſen und ſie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückſtändige Luft größtentheils aus dieſem Gaſe beſtehe, das nicht blos keine Oxydbildung geſtattet, ſondern für das etwa ſchon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitſch. 10. 234.)

178. Ohne die Künſteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen, oder in zierliche Möbel umzuſtalten ſuchte, wie man dieſes an Huyghens und Hooks Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's

Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer ꝛc. ſehen kann (deren einige auch der Supplementband beſchreibt), gebe ich nur drei verſchiedene Formen derſelben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig iſt, dient das Barometer (Fig. 63) mit dem birnförmigen Gefäße *A*, welches Gefäß im Verhältniſſe zur Röhre weit genug iſt, damit beim Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße ſo klein als möglich ausfallen. Wenn einem auch wenig an einer völligen Genauigkeit ſolcher Barometer liegt, ſo darf man doch nicht annehmen, daß die Länge der Queckſilberſäule, welche dem Längenunterſchiede der Säule in beiden Armen *A* und *B*, nämlich *ab* gleich iſt, das beiläufige Maß des Luftdruckes ſey; denn dieſe Säule iſt wegen der Einwirkung der Capillarität zu kurz und zwar um ſo viel mehr, je enger die Röhre *B* gegen das Gefäß *A* iſt. Laplace hat nach ſeiner Theorie der Haarröhrchen eine Tafel berechnet, welche die Erniedrigung des Queckſilbers in Röhren von verſchiedenem Durchmeſſer angibt. (Suppl. S. 934.) — Zu genaueren Beobachtungen bedient man ſich eines Gefäßbarometers von der Form Fig. 64, wo *B* wieder die Barometerröhre vorſtellt, *A* aber ein weites, cylindriſches Gefäß, deſſen unterer Boden durch eine Schraube *a* gehoben oder geſenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Queckſilbers immer in demſelben Stande zu erhalten. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Queckſilbers im Gefäße *A* ganz abſehen, wenn es weit genug iſt. Will man aber genaue Reſultate erhalten, ſo muß das Niveau des Queckſilbers daſelbſt bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpuncte der Scale (mit den nöthigen Correctionen wegen der Capillarität) entſpricht. Dieſes erhält man, indem man mittelſt der Schraube *a* das Queckſilber ſo weit hebt oder ſenkt, bis deſſen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens angebrachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf ſchwimmendes, durch den Deckel der Queckſilberbüchſe hervorragendes Stängelchen eine beſtimmte Höhe erreicht hat. Fig. 65 und 66 ſtellen dieſe zwei Einrichtungen der Queckſilberbüchſe beſonders vor. Erhebt man mittelſt der Schraube *a* den mit Leder gefütterten Boden des Queckſilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt iſt, in welcher man vorläufig das Queckſilber durch Neigen bis an die Wölbung ſteigen gemacht hat; ſo iſt das Inſtrument

geſperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Queckſilbers im geſperrten Zuſtande die Röhre nicht ſprenge und bei der Zuſammenziehung desſelben durch Kälte kein leerer Raum entſtehe, muß der Boden des Queckſilbergefäßes elaſtiſch ſeyn, um ſich immer an das Queckſilber anzuſchließen, wenn es ſich zuſammenzieht und ihm auch nachzugeben, wenn es ſich ausdehnt. Das vollkommenſte Barometer iſt ohne Zweifel das Fig. 67 abgebildete. Es beſteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denſelben Durchmeſſer hat, wie der längere dort, wo die Queckſilberſäule ſpielt. Wenn ein ſolches Inſtrument gehörig von Luft gereinigt iſt, ſo gibt *ab*, als der Höhenunterſchied der Queckſilberſäule in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an, ohne einer Correction wegen der Capillarität zu bedürfen; denn die Wirkungen derſelben ſind in beiden Schenkeln einander gleich und entgegengeſetzt. Steigt das Queckſilber im längeren Arme, ſo fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es iſt zwar die Länge der Queckſilberſäule in *dc* eben ſo veränderlich wie in *ab*, aber die Größen dieſer Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich ſeyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmeſſer haben, eine Eigenſchaft, die man gar ſelten findet. Wäre dieſe Eigenſchaft leichter zu erhalten, ſo dürfte man nur die Höhe *ab* ein für allemal von *a* bis *b* meſſen, ihr Maß in *b* verzeichnen und die Veränderungen in *b* doppelt nehmen, ohne die in *c* zu berückſichtigen. Um ſich aber auf eine ſo ſchwer zu erhaltende Sache nicht verlaſſen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man ſie in *d* an eine Schraubenmutter befeſtiget, welche durch die am Brete *ABCD* angebrachte Schraube *e* gehoben oder geſenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, ſchraubt man die Röhre ſo, daß die Oberfläche des Queckſilbers einem fixen Puncte *c* entſpricht. (Mehr hierüber in: Luz vollſtändige und auf Erfahrung gegründete Beſchreibung von Barometern. Nürnberg und Leipzig, 1784; oder in Gehlers phyſ. Wörterbuche, neu bearbeitet. Art. Barometer. Suppl. S. 134—148.)

179. Da die Queckſilberſäule im Barometer mit dem Luftdruck im Gleichgewichte ſteht, ſo muß dieſer ſo groß ſeyn, wie der Druck einer Queckſilberſäule, deren Höhe der jeweiligen Barometerhöhe und deren Baſis der gedrückten Fläche gleich iſt. Wegen der großen Höhe der Atmoſphäre und der geringen Dichte der Luft

wird man auf die Neigung dieſer Fläche gegen den Horizont keine Rückſicht nehmen dürfen und den Druck auf eine geneigte Fläche wie den auf eine horizontale berechnen können. Man braucht daher zum Behufe dieſer Rechnung nur die Größe der gedrückten Fläche, und den Barometerſtand zu kennen und zu wiſſen, daß ein Wiener Kubikfuß Queckſilber bei 0° *C.* 766,530 W. Pf., mithin ein K. Z. 14,1950 Loth wiege. Allein für jede andere Temperatur iſt dieſes Gewicht, mithin auch die Länge der demſelben Luftdruck entſprechenden Queckſilberſäule anders und muß erſt vorläufig auf die Normaltemperatur 0° *C.* reducirt werden. Dieſe Correction beruht auf der Thatſache, daß ſich die Länge einer Queckſilberſäule, die bei 0° *C.* als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $\frac{1}{5550}$ ändere. Heißt daher b die bei t° *C.* beobachtete Barometerhöhe; ſo iſt dieſe, auf 0° *C.* reducirt, gleich $b - \frac{bt}{5550}$, wo t poſitiv oder negativ zu nehmen iſt, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispuncte ſteht. (Suppl. S. 935.)

Im Mittel beträgt die Höhe der Queckſilberſäule im Barometer in Wien 28,409 W. Z. Eine Säule von dieſer Höhe und einem Q. Zoll Baſis drückt wie ein Gewicht von 12,6 Pf. Demnach beträgt der Druck, den die Luft auf einen erwachſenen Menſchen ausübt, deſſen Oberfläche man zu 15 Q. Fuß annehmen kann, 27225 Pf. Dieſen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, ſelbſt von Innen heraus wirkt, und wir unſern Zuſtand nicht mit dem, wo dieſer Druck fehlt, vergleichen können; ſelbſt kleine Veränderungen dieſes Druckes, wie ſie oft in der Atmoſphäre Statt finden, treten für den geſunden Menſchen unbemerkt ein und geben ſich nur bei ſehr empfindſamen Individuen durch ein Übelbefinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie ſie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer iſt, in tiefer liegende kommen, oder umgekehrt, verurſachen ſelbſt bei geſunden und kräftigen Individuen ein Übelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. Der Druck, welchen die atmoſphäriſche Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das abſolute Gewicht der ganzen Atmoſphäre beläuft ſich auf 96480 Billionen Zentner W. G.

180. Die Möglichkeit, eine mit Luft gefüllte Blaſe zuſammenzudrücken und ihre ſchnelle Ausdehnung, wenn der Druck nachläßt, nebſt dem Umſtande, daß ſie in jeder auch noch ſo geringen Menge das ganze Gefäß einnimmt, in welches ſie eingeſperrt iſt, beweiſen die Ausdehnſamkeit derſelben. Da dieſes zu allen Zeiten

zutrifft, ſelbſt mit Luft, die in verſchloſſenem Raume aufbewahrt wird, wie Robervalls und Muſſchenbroeks Verſuche beweiſen, wo eine Portion Luft mehrere Jahre hindurch eingeſperrt erhalten ward und man deshalb gewiß ſeyn konnte, daß der Verſuch genau mit derſelben Luft gemacht wurde; ſo muß dieſe Ausdehnſamkeit wohl für beſtändig gelten.

181. Die Größe der Ausdehnſamkeit eines Gaſes hängt ab von ſeiner Natur, Dichte und Temperatur, und zwar wächſt dieſelbe mit der Dichte und Temperatur. Die abſtoßende Kraft, mit welcher je zwei Theilchen eines Gaſes auf einander wirken, iſt bei verſchiedenen Gaſen ſelbſt bei gleicher Temperatur und Entfernung derſelben von einander verſchieden, mithin auch die Expanſivkraft derſelben. Nähert man dieſe Theilchen einander, d. h. verdichtet man das Gas, oder erwärmt man es; ſo unterſtützt man die abſtoßende Kraft und ſteigert dadurch die Expanſivkraft. In welchem Verhältniſſe aber die Expanſivkraft eines Gaſes wachſe, wenn die Dichte oder Temperatur um eine gewiſſe Größe zugenommen hat, dieſes läßt ſich durchaus nur aus Verſuchen entnehmen.

182. Wenn man in eine gebogene Röhre *ABC* (Fig. 68), deren kürzerer Schenkel verſchloſſen iſt, Queckſilber gießt, ſo daß es im längeren bis *D*, im kürzeren bis *E* reicht; ſo erleidet die in *EC* eingeſchloſſene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Queckſilberſäule *DF*, dem ihre Ausdehnſamkeit nebſt ihrem Gewichte das Gleichgewicht hält. Heißt die Barometerhöhe b, die Höhe der Queckſilberſäule $DF = a$; ſo kann der Druck einer Queckſilberſäule von der Länge $b + a$ als das Maß der Ausdehnſamkeit der Luft in *EC* angeſehen werden, weil ihr Gewicht unbedeutend iſt. Vermehrt man die Queckſilberſäule a langſam und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft in *EC* einnimmt; ſo lehrt die Erfahrung, daß letzterer in demſelben Verhältniſſe vermindert wird, in welchem die drückende Kraft $b + a$ zunimmt, die Luft kann übrigens atmoſphäriſche oder eine andere oder gar ein Gemiſch von mehreren ſeyn, wenn ſie nur vor dem Verſuche gut ausgetrocknet wird, und während des Verſuches keine Änderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Reſultat findet man, wenn man, ſtatt die Luft zu verdichten, ſie durch Verminderung der drückenden Kraft auf eine geringere Dichte bringt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 69), die auf einer Seite offen, auf der

anderen mit einem Hahne B verſchloſſen iſt, und eine eben ſo lange zweite aber viel weitere und unten geſchloſſene C. Dieſe wird zum Theile mit Queckſilber angefüllt und erſtere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor der Hahn geöffnet worden iſt. Sobald die Einſenkung auf eine beliebige Tiefe geſchehen iſt, ſchließt man den Hahn, und bemerkt das Volumen der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerſtand b entſpricht, hebt ſie dann um ein beliebiges Stück aus dem Queckſilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasſelbe hervortreten zu laſſen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Queckſilberſäule in der kleinen Röhre nun eine Höhe a, ſo erleidet die Luft darin einen Druck $b-a$, und dieſer Druck wird ſtets dem Luftvolumen verkehrt proportionirt gefunden. Dieſes Geſetz, welches das Mariotteſche genannt wird, läßt ſich ſo ausdrücken: Die Ausdehnſamkeit oder die Dichte der Luft wächſt bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der drückenden Kraft, oder die abſtoßende Kraft der kleinſten Theilchen nimmt in demſelben Verhältniſſe zu, in welchem ihre Entfernung von einander kleiner wird. Dieſes Geſetz hat ſich bei der atmoſphäriſchen Luft ſelbſt noch bei einer 27fachen Verdichtung und einer 112fachen Verdünnung vollkommen bewährt. (Zeitſch. 8. 114.) Nach Oerſteds Verſuchen (Schweigg. J. 45. 352) gilt es nicht blos für atmoſphäriſche Luft, ſondern auch für viele andere Gasarten bis zu einer 66maligen Verdichtung; nach Despretz aber (Schweigg. J. 51. 108) weicht Waſſerſtoffgas ſchon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, ſo wie das ſchwefeligſaure und ſchwefelwaſſerſtoffſaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von dieſem Geſetze ab. Allein die Verſuche dieſer beiden Gelehrten können des dazu angewendeten Verfahrens wegen keine große Sicherheit des Reſultates gewähren, ſo daß die Grenzen, innerhalb welcher dieſes Geſetz auf Gaſe anwendbar iſt, als noch nicht beſtimmt angeſehen werden müſſen. Daß aber ſolche Grenzen exiſtiren, ſcheint in der Natur der Gaſe zu liegen. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß alle ausdehnſame Körper nur einen gewiſſen Druck ertragen, ohne in tropfbaren Zuſtand überzugehen. Wird dieſer Druck überſchritten, ſo kommen ſich die Theile des Gaſes näher, als es mit dem Beſtehen ſeiner Ausdehnſamkeit verträglich iſt, es muß ein Theil desſelben tropfbar werden, und das Mariotteſche Geſetz hört auf, fernerhin giltig zu ſeyn, indem die Verſtärkung der drückenden Kraft keine

weitere Verdichtung erzeugt. Dieſes hat Oerſted erfahren, als er atmoſphäriſche Luft und ſchwefeligſaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer 2.25maligen Verdichtung einerlei Gang, weiter hinaus wuchs bei demſelben Drucke die Dichte der atmoſphäriſchen Luft ſchneller als die des ſchwefeligſauren Gaſes; bei einer 3.27maligen Verdichtung war ſchon die tropfbare Flüſſigkeit bemerklich, welche das letztere Gas geliefert hat. Eben ſo kann das Mariotteſche Geſetz bei der Verdünnung eines Gaſes nur ſo lange Anwendung finden, bis die Ausdehnſamkeit desſelben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten iſt, indem von dieſem Puncte an bei einer ferneren Verminderung der drückenden Kraft keine weitere Ausdehnung des Gaſes erfolgt.

183. Die Zunahme der Ausdehnſamkeit der Luft durch Erwärmung beweiſet das Anſchwellen einer mit Luft gefüllten Blaſe über Kohlenfeuer, und unzählige andere Erſcheinungen *). Verſuche, die dieſes zum Zwecke hatten, wurden von Lambert, Dalton, Gay-Luſſac, von Dulong und Petit und von Davy mit beſonderer Genauigkeit angeſtellt. Gay-Luſſac bediente ſich dazu einer wohl ausgetrockneten Thermometerröhre, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel verſehen war, deren Kubikinhalt zu dem der Röhre in einem hinlänglich großen und bekannten Verhältniſſe ſtand. Dieſe wurde bei einem bekannten Barometerſtande mit der zu prüfenden, gut ausgetrockneten Luft zum Theil angefüllt, durch eine kleine bewegliche Queckſilberſäule geſchloſſen, horizontal in ein Waſſer- oder Queckſilberbad gelegt, dem man verſchiedene Wärmegrade mittheilen konnte, und die Größe des Volumens der Luft bei jedem Grade gemeſſen. Wurde das eingeſchloſſene Luftvolumen bei 0° *C.* als Einheit angenommen, ſo lehrte die Erfahrung, daß dieſes Volumen bei 100° *C.* gleich 1,375 ſey, das Gas mochte von was immer für einer Natur ſeyn, wenn es nur gut ausgetrocknet war. Für

*) Wenn es nach dieſer Darſtellung ſcheint, als wäre die Wirkung der Wärme auf ausdehnſame Körper anders beſchaffen, als auf feſte und tropfbare; ſo iſt dieſes doch nicht wirklich der Fall; denn das ſinnliche Zeichen dieſer Wirkung iſt in allen drei Körpergattungen dasſelbe, nämlich Vergrößerung des Volumens, während die unmittelbare Wirkung, wovon jene eine bloße Folge iſt, in der Vermehrung der abſtoßenden Kraft beſteht.

jeden anderen Wärmegrad fand man dieſes Volumen der Temperatur proportionirt, wie z. B. für 20° *C.* gleich 1.075 = 1 + 0.00375 × 20, ſo daß die Zunahme des Volumens für jeden einzelnen Wärmegrad 0.00375 oder $\frac{1}{267}$ des bei 0° *C.* Statt findenden Volumens beträgt. Bei allen dieſen Temperaturen hatte die eingeſchloſſene Luft ungeachtet der mit der Temperatur fortſchreitenden Verdünnung einerlei Expanſivkraft, und es muß demnach die Temperaturerhöhung das erſetzt haben, um was durch Verdünnung die Expanſivkraft abgenommen hat, oder die Zunahme der Expanſivkraft bei der Temperaturerhöhung iſt der dabei Statt findenden Volumenvergrößerung proportionirt. Heißt demnach die Expanſivkraft bei 0° *C.* = 1, ſo wächſt ſie für jede Temperaturerhöhung von 1° um 0.00375 und iſt daher für t° gleich 1 + 0.00375 t. Dieſes Geſetz hat ſich nach Dulong's und Petit's Verſuchen von der Temperatur — 36° *C.* bis zu 365° *C.* und nach Davy ſelbſt für verdichtete Luft bewährt.

Mittelſt dieſes und des Mariotteſchen Geſetzes iſt man im Stande, den Einfluß, welchen die Wärme oder ein Druck auf ein Gasvolumen ausübt, in Rechnung zu bringen und jedes bei einer beſtimmten Temperatur und unter einem beſtimmten Druck gemeſſene Gasvolumen auf eine Normaltemperatur (0° *C.*) und auf einen Normaldruck (28 P. Z. oder 28,774 W. Z.) zu reduciren. Es ſey v ein Gasvolumen bei 0° *C.* und 28 P. Z. Luftdruck, v' das Volumen desſelben Gaſes bei t° *C.* und dem Barometerſtande b. Man nenne nun v'' das Volumen dieſes Gaſes bei t° *C.* und dem Normaldrucke, ſo hat man:

$$v'' = v\,(1 + 0.00375\,t);\; v'' = \frac{b}{28}\,v';\; \text{mithin}\; v = \frac{b v'}{28\,(1 + 0.00375\,t)}.$$

184. Der Umſtand, daß ſich alle Gasarten bei derſelben Wärmezunahme um gleiche Theile ihres Volumens ausdehnen, zeigt, daß ihre Ausdehnſamkeit reine Wirkung der Wärme ſey. Ein Thermometer, deſſen Subſtanz ein Gas iſt, wird dieſem gemäß einen der Wärme ganz entſprechenden Gang haben müſſen. Ein ſolches Thermometer, welches Luftthermometer heißt, erhält man, wenn man an einem gemeinen Barometer (Fig. 63) das Queckſilbergefäß *A* zuſchmilzt und ſo wie bei einem Queckſilberthermometer, aber bei verticalem Stande der Röhre, den Eis- und Siedpunct beſtimmt. Man kann dieſem Inſtrumente auch die Geſtalt eines gewöhnlichen Queckſilberthermometers geben, indem man die in der Kugel und in einem Theile der daran befindlichen Röh-

re enthaltene, gut ausgetrocknete Luft durch eine kurze Queckſilberſäule von der äußeren Atmoſphäre abſperrt, übrigens aber die Röhre offen läßt. Die Queckſilberſäule gibt den Index ab. Bei dieſer Einrichtung des Luftthermometers ſpricht ſich die Wirkung der Wärme auf die Luft reiner aus, als bei jener, weil bei ihr die Ausdehnung der Queckſilberſäule durch die Wärme keinen Einfluß auf das Reſultat hat, während dieſer Einfluß bei der erſteren Einrichtung ſo groß iſt, daß er ſtets in Rechnung gebracht werden muß. Dagegen iſt das erſtere Luftthermometer von den Veränderungen des Luftdruckes unabhängig, das zweite aber wird von dieſen Veränderungen afficirt; man kann aber die dadurch hervorgebrachte Änderung im Volumen der Luft leicht nach dem Mariotteſchen Geſetze finden (182). Auch bei der Abtheilung des Fundamentalabſtandes kann man auf verſchiedene Weiſe verfahren. Man kann denſelben in 375 gleiche Theile abtheilen, zum Eispuncte 1000 und zum Siedpuncte 1375 ſetzen, oder man kann ihn in 100 Theile theilen, und den Eispunct mit 267 bezeichnen, woraus ſich für den Siedpunct die Zahl 367 ergibt. Das erſte Verfahren gewährt den Vortheil, daß ein darnach eingerichtetes Thermometer ſtets unmittelbar die Größe der Ausdehnſamkeit der Luft, mithin das wahre Maß der Wärme angibt, das letztere hingegen den, daß ſich die Grade des Luftthermometers durch bloße Addition oder Subtraction in die eines hunderttheiligen Queckſilberthermometers verwandeln laſſen. Heißt eine beliebige Anzahl Grade des Luftthermometers nach der erſten Einrichtung L, die ihr entſprechende am hunderttheiligen Queckſilberthermometer C; ſo iſt $L = 3{,}75\,C + 1000$ und $C = \frac{L - 1000}{3{,}75}$. Bezeichnet L' dieſelbe Größe für das Luftthermometer nach der zweiten Einrichtung; ſo iſt $L' = 267 + C$ und $C = L' - 267$.

185. Aus dem Vorhergehenden iſt erſichtlich, daß ein Luftthermometer als Regulator für jedes andere Thermometer anzuſehen ſey. Das Queckſilberthermometer ſtimmt mit dieſem innerhalb des Fundamentalabſtandes vollkommen überein, bei einem Stande des Luftthermometers, welcher — 36° des Queckſilberthermometers entſpricht, zeigte ein ſolches Inſtrument nach Dulong's und Petit's Verſuchen — 36.11, aber bei Temperaturen, die weit über 100° C. liegen, eilt es dem Luftthermometer viel voraus. Die genannten Phyſiker fanden, daß ein Queckſilberthermometer 360°

zeigte, wo es dem Stande des Luftthermometers gemäß hätte 350° zeigen ſollen. Demnach iſt das Queckſilberthermometer von etwa — 36° bis 100° *C.* ein vollkommener Temperaturmeſſer, unter und über dieſer Temperatur ſoll man ſich aber des Luftthermometers bedienen, außer man will lieber den ſcheinbaren Thermometerſtand mittelſt einer Correction auf den wahren reduciren. (August in Pogg. Ann. 13. 119; Suppl. 133. 933.)

186. Das vorhin beſchriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Expanſivkraft der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Verſieht man es nämlich mit einer Volumenſcale, der das Volumen der Luft bei 0° *C.* und 28 K. Z. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; ſo gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 als Zähler und das Volumen der Luft, wie es das Inſtrument angibt, als Nenner hat, die geſuchte Expanſivkraft an. Man kann zur Erſparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale ſtatt mit der Volumenzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen und dann die Expanſivkraft unmittelbar ableſen. Kleine Änderungen der Expanſivkraft zeigt Wollaſton's Differenzialbarometer an. Dieſes iſt in Fig. 70 abgebildet und beſteht aus einem Käſtchen *A*, das durch eine Scheidewand in 2 Fächer getheilt iſt, deren eines offen iſt und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geſchloſſen iſt und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieſes Käſtchen iſt eine zweiſchenkelige Glasröhre *B* ſo eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geſchloſſenen Fache in Verbindung ſteht. Beide Schenkel enthalten eine 2 — 3 Zoll lange Waſſerſäule und über derſelben eine Öhlſäule, die bis ins Gefäß reicht, und den Boden desſelben noch $\frac{1}{2}$ Z. deckt. Iſt die Waſſerſäule in beiden Schenkeln gleich hoch, ſo iſt das Inſtrument adjuſtirt. Beim Gebrauche wird die Röhre der geſchloſſenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Änderung der Expanſivkraft vor ſich gehen ſoll und die Bewegung der Waſſerſäule beobachtet. Dort, wo die Expanſivkraft kleiner wird, ſteigt die Waſſerſäule und es verkürzet ſich die Öhlſäule, bis die Differenz zwiſchen der Waſſer- und Öhlſäule dieſer Abnahme entſpricht. Nähme man ſtatt Öhl und Waſſer zwei andere Flüſſigkeiten, deren Dichten einander noch näher ſtänden, ſo würde das Inſtrument noch empfindlicher.

187. Dem Vorhergehenden gemäß ſtehen uns zur Änderung der Expanſivkraft eines Gaſes zwei Mittel zu Gebote, nämlich Änderung der Temperatur und der Dichte. Wie erſteres Mittel anzuwenden ſey, iſt für ſich klar; zur Anwendung des letzteren braucht man meiſtens ein beſonderes, in vielen anderen Beziehungen für den Phyſiker wichtiges, von Otto Guerike, einem Deutſchen, im Jahre 1650 erfundenes Inſtrument, die Luftpumpe. Die weſentlichen Beſtandtheile derſelben ſind: 1) Ein hohler, inwendig ſehr glatter Cylinder *A* (Fig. 70*) von Glas oder Metall (der Stiefel), in deſſen Höhlung 2) ein Kolben *B* luftdicht paſſet, und mittelſt einer Vorrichtung auf und ab bewegt werden kann. An dem Boden iſt eine kleine Röhre angeſetzt, an deren Ende ſich eine wohl abgeſchliffene Platte (der Teller) befindet, worauf ein Recipient luftdicht zu ſtehen kommt. Die kleine Röhre iſt 3) mit einem Hahn *C* verſehen, mittelſt welchem, nach Verſchiedenheit ſeiner Stellung, vom Cylinder in den Recipienten und nach Außen Luft gelangen kann. Statt des Hahnes hat man nicht ſelten am Boden des Stiefels und an der Seite desſelben ein feines Ventil, wovon ſich das erſte von Außen nach Innen, das zweite von Innen nach Außen öffnet. Man hat Luftpumpen mit einem und mit zwei Stiefeln; dieſe ſtehen meiſtens vertical, ſelten ſchief; der Hahn wird in manchem Inſtrumente mit dem Kolben zugleich in Bewegung geſetzt, bei anderen iſt die Bewegung des Hahnes ganz den Händen des Experimentators überlaſſen.

188. Mittelſt der Luftpumpe kann man die in einem Gefäße enthaltene Luft verdünnen oder verdichten. Das dabei nöthige Verfahren gründet ſich auf ihre Ausdehnſamkeit. Das Verdünnen geſchieht auf folgende Art: Man ſetzt den Recipienten mit der zu verdünnenden Luft luftdicht auf den Teller der Luftpumpe, richtet den Hahn ſo, daß vom Recipienten Luft in den Stiefel gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf ſtellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwiſchen der äußeren Luft und der inneren im Stiefel her, drückt den Kolben hinab, und wiederholt das ganze Verfahren, ſo oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atmoſphäriſche Luft in einem Gefäße verdichtet werden, ſo befeſtigt man letzteres ſtark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn ſo, daß Luft von Außen in den Stiefel dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verſchaffen, drückt den

Kolben hinab, und wiederholt dieſes Verfahren, ſo oft man es für nöthig hält, oder es die Feſtigkeit des Recipienten erlaubt.

189. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Luftpumpe, die ſo eingerichtet iſt, wie die vorhin beſchriebene Hahnluftpumpe, ſetzt der zwiſchen dem Boden des Stiefels und dem Hahne befindliche Raum, den man ſchädlichen Raum nennt, eine Grenze. Da dieſer Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann, ſo wird die Luft nur ſo weit verdünnt werden können, bis ein Volumen derſelben, das den ganzen Stiefel ausfüllt, in den ſchädlichen Raum zuſammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in dieſem Falle beim Hineinſtoßen des Kolbens keine Luft aus dem Stiefel mehr getrieben werden kann. Auch die Verdichtung kann nur ſo weit fortſchreiten, bis die im Stiefel enthaltene Maſſe von der Dichte der äußeren Luft, durch Zuſammendrücken in den ſchädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeſchloſſen iſt. — Ventilluftpumpen haben zwar keinen ſchädlichen Raum, aber dagegen den Nachtheil, daß ſie nicht zum Verdichten und Verdünnen zugleich gebraucht werden können, und daß man, bei weit fortgeſchrittener Verdünnung oder Verdichtung, der Bewegung des Ventils nachhelfen muß, weil ſie die Luft nicht mehr allein bewerkſtelligen kann. Durch Bemühungen der Künſtler, Luftpumpen ohne ſchädlichen Raum zu verfertigen, wird dem Übel am beſten abgeholfen.

190. Zum Verdichten der Luft bedient man ſich gerne einer ſogenannten Compreſſionspumpe. Sie beſteht aus einem hohlen Cylinder *AB* (Fig. 71), der in *B* mit einem Schraubengewinde verſehen iſt, um ihn an den Recipienten anſchrauben zu können. Ober dieſem hat er ein Ventil, das ſich von Innen nach Außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Öffnung *C*. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befeſtiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Öffnung *C*, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieſes Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künſtlich erzeugte Luftart verdichtet werden, ſo braucht man nur an *C* eine mit dieſer Luft gefüllte Blaſe zu befeſtigen, und dann wie vorhin zu verfahren.

191. Wie weit die Verdünnung der Luft mittelſt der Luftpumpe gediehen ſey, erkennt man durch die ſogenannte Birnprobe,

oder einfacher durch ein kurzes Barometer (Barometerprobe), welches man unter den Recipienten bringt, wenn es nicht vom Künſtler mit der Luftpumpe in Verbindung gebracht iſt, wohl auch durch Rechnung.

Die Birnprobe iſt eine an einem Ende geſchloſſene, am anderen offene und daſelbſt zu einem birnförmigen Gefäße erweiterte Glasröhre von etwa 6 Zoll Länge und 2 Linien Weite, die in gleiche Raumtheile getheilt iſt. Will man damit den Grad der Luftverdünnung in einem Recipienten erkennen, ſo befeſtigt man ſie an demſelben in verticaler Stellung, mit der Öffnung nach unten gekehrt und mit einer Vorrichtung in Verbindung, wodurch man ſie von Außen heben und ſenken kann, und bringt gerade unterhalb des birnförmigen Gefäßes eine Schale mit reinem Queckſilber an. So wie die Verdünnung der Luft im Recipienten und in der Birnprobe den zu prüfenden Grad erreicht hat, drückt man letztere ſo weit hinab, daß ihr Rand im Queckſilber ſteht, und läßt Luft in den Recipienten. Sobald dieſes geſchieht, hebt ſich das Queckſilber in der Birnprobe nach Maßgabe der Luftverdünnung in derſelben. Iſt das Gleichgewicht hergeſtellt, ſo nimmt man die Birnprobe heraus, wobei gewöhnlich etwas Queckſilber aus dem birnförmigen Gefäße auslauft, hält ſie horizontal und mißt den nun von der Luft in ihr eingenommenen, durch die Queckſilberſäule abgeſperrten Raum. So oft dieſer im ganzen Rauminhalte des Inſtrumentes enthalten iſt, ſo vielmal iſt die Luft verdünnt worden. — Die Barometerprobe iſt meiſtens ein kurzes Heberbarometer, wenn es zur Prüfung der Verdünnung der Luft dienen ſoll. Man beobachtet die Höhe der Queckſilberſäule dieſes Barometers, und die eines anderen, welcher mit der äußeren Atmoſphäre im Gleichgewichte ſteht. Beträgt jene a, dieſe b, ſo iſt die Dichte der Luft im Recipienten $\frac{a}{b}$, wenn die der äußeren $= 1$ geſetzt wird und innerhalb des Recipienten keine Dünſte entſtanden ſind. Dasſelbe Barometer kann auch dazu dienen, den Grad der Verdichtung zu erkennen, nur muß der geſchloſſene Schenkel desſelben etwas Luft enthalten. Mißt man das Volumen derſelben vor und nach der Verdichtung und reducirt letzteres nach dem Mariotteſchen Geſetze auf den ganzen Druck der Luft, ſo gibt der Quotient des Verhältniſſes beider Volumina die geſuchte Verdichtung an. — Durch Rechnung findet man die Verdünnung und Verdichtung der Luft, wenn die Capacität des Stiefels und des Recipienten ſammt der Anzahl der gemachten Kolbenzüge gegeben iſt. Heißt das Volumen der Höhlung des Stiefels A, das des Recipienten B, die Dichte der äußeren Luft d, die im Recipienten nach einem Zuge $d_{,}$, nach zwei Zügen $d_{,,}$ u. ſ. w., nach n Zügen d_n; ſo iſt für die Operation des Verdünnens:

$$d : d_{,} = A + B : B$$
$$d' : d_{,,} = A + B : B$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$d_{n-1} : d_n = A + B : B, \text{ daher}$$
$$d : d_n = (A + B)^n : B^n, \text{ oder}$$
$$d_n = \frac{B^n}{(A + B)^n} . d.$$

Gelten dieſelben Bezeichnungen bei der Verdichtung, ſo hat man

$$d : d_{,} = B : B + A$$
$$d : d_{,,} = B : B + 2A \text{ und}$$
$$d : d_n = B : B + nA \text{ oder}$$
$$d_n = \frac{(B + nA)}{B} . d.$$

Über Luftpumpen handelt ſehr ausführlich Gehler's Wörterbuch neu bearbeitet. Bd. 6. Abth. 1.

192. Mittelſt der Luftpumpe läßt ſich die Schwere und Ausdehnſamkeit der Luftarten nebſt dem Verhältniſſe, in welchem beide Eigenſchaften zu einander ſtehen, recht deutlich zeigen:

1) Wenn man ein, mit was immer für einer Luftart gefülltes, gläſernes Gefäß abwiegt, hernach die Luft verdünnet, und das Gefäß wieder auf die Wage bringt, ſo findet man es leichter. 2) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft feſt auf dem Teller. 3) Iſt er oben mit einer Blaſe verbunden, ſo wird dieſelbe eingedrückt. 4) Iſt er oben mit einem hölzernen Becher verſehen, welcher Queckſilber enthält, ſo wird dieſes durch das Holz gedrückt. 4) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgiſche Halbkugeln) können nur mit einer bedeutenden Kraft getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Ein Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 7) Eine ſchlaffe, zugebundene Blaſe ſchwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt, und hebt ein bedeutendes Gewicht. 8) Der Heronsball ſpringt in verdünnter Luft. 9) Ein ſchwaches, geſchloſſenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerſpringt daſelbſt. 10) Viele Flüſſigkeiten und auch feſte Körper geben eine Menge Luft von ſich. 11) Ganz ungleichartige Körper, z. B. eine zarte Feder, ein Stück Papier und ein Stück Metall fallen gleich ſchnell.

193. Die vorhergehenden Betrachtungen über die Expanſivkraft der Gaſe bezogen ſich auf ganze Maſſen, mithin auf die abſolute Expanſivkraft; von dieſer iſt aber die ſpecifiſche, d. h.

die Kraft, mit der je zwei Theile eines Gaſes einander abſtoßen, weſentlich verſchieden, und dieſe hängt von der Natur und Temperatur der Gaſe ab. Es iſt klar, daß wir dieſe nicht unmittelbar abzunehmen vermögen, weil wir mit einzelnen Atomen keinen Verſuch machen können, wir können aber mittelbar zu ihrer Kenntniß gelangen. Man wähle vier Gasmaſſen M, M, M', M'', nenne nach der Ordnung ihre abſolute Expanſivkraft A, a, a, a, ihre Dichte D, D, d, d, ihre Temperatur nach dem Luftthermometer T, T, T, t, und ihre ſpeciſiſche Expanſivkraft E, e, e', e''. Da hat man offenbar:

$$E : e = A : a$$
$$e : e' = d : D$$
$$e' : e'' = t : T$$

mithin $E : e'' = Adt : aDT$,

oder $E : e'' = \frac{A}{DT} : \frac{a}{dt}$,

für gleiche Dichten und Temperaturen iſt

$$E : e'' = A : a,$$

oder es verhalten ſich die ſpeciſiſchen Expanſivkräfte wie die abſoluten. Darum ſagt man auch, ſpeciſiſche Expanſivkraft ſey die Expanſivkraft bei gleicher Temperatur und Dichte. Für gleiche Temperaturen und abſolute Expanſivkräfte iſt $E : e'' = d : D$, d. h. die ſpeciſiſchen Expanſivkräfte verhalten ſich verkehrt wie die Dichte, oder es haben die Theilchen eines Gaſes bei gleicher abſtoßender Kraft eine in demſelben Verhältniſſe größere Entfernung von einander, als die eines anderen, in welchem dieſes Gas dichter iſt als jenes. Es ſtoßen ſich demnach z. B. die Waſſerſtoffgastheile bei dreizehnmal größerer gegenſeitiger Entfernung erſt eben ſo ſtark ab, wie die Theile der atmoſphäriſchen Luft bei einfacher Entfernung.

B. Specifiſches Gewicht der Gaſe.

194. Um das ſpeciſiſche Gewicht der atmoſphäriſchen Luft zu finden, nimmt man einen Ballon, der wenigſtens 250—300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verſchloſſen und an eine gute Luftpumpe angeſchraubt werden kann. Nachdem man in demſelben die Luft ſo ſtark als möglich verdünnt hat, ſchließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empſindliche Wage, bemerkt ſein Gewicht $= P$, öffnet hierauf den Hahn und beſtimmt ſein Gewicht $= P'$ von Neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt wurde; ſo iſt $P' - P$ das Ge-

wicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man nun das Volumen V des Ballons; ſo iſt $\frac{P'-P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht der atmoſphäriſchen Luft. Auf dieſe Weiſe überzeugte man ſich, daß ein Kubikfuß atmoſphäriſcher Luft bei 0° *C.* und einem Luftdrucke von 28 P. Z. 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0.316 Gr. wäge. Es iſt daher die atmoſphäriſche Luft bei 0° *C.* und 28 P. Z. 770mal leichter als Waſſer.

Läßt man in den Ballon ſo, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, ſtatt atmoſphäriſcher Luft, irgend eine andere Luftart eindringen und findet wieder ſein Gewicht $= Q$; ſo iſt $\frac{Q-P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht des Gaſes, welches ſich im Ballon befindet.

195. Alle dieſe Verſuche ſetzen voraus, daß die Luftarten ganz rein ſind, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, ſo wie ſein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelſt der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden kann, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Waſſerdünſten, die auf ihr ſpecifiſches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben; dieſes ändert ſich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Temperatur; letztere hat ſogar auf die Capacität des Gefäßes und auf ſein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar ſehr gering iſt und daher manchmal überſehen werden kann, bei ſehr genauen Verſuchen aber doch in Anſchlag gebracht werden muß. Aus dieſen Gründen wählt man nur ſolche Luft zu Verſuchen dieſer Art, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer beſtimmten Temperatur und bei einem beſtimmten Luftdrucke oder reducirt die unter anderen Umſtänden erhaltenen Reſultate auf die Normaltemperatur 0° *C.* und auf den Normaldruck 28 P. Z.

Die Reduction wegen Änderung des ſpecifiſchen Gewichtes durch die Wärme und den Luftdruck, als die wichtigſte, läßt ſich leicht veranſtalten. Iſt Buchſtabe s das ſpecifiſche Gewicht, welches man bei der Temperatur t und dem Luftdrucke b gefunden hat, s' das auf den normalen Stand der Wärme und des Luftdruckes reducirte; ſo hat man (nach 183 Anm.)

$$s : s' = \frac{b}{28(1+0.00375\,t)} : 1 \text{ daher } s' = \frac{s(1+0.00375\,t)28}{b}.$$

196. Die Mittel, wodurch man das ſpecifiſche Gewicht der Gaſe kennen lernt, führen natürlich auch zur Kenntniß ihrer Dichte. Bei der Bezeichnung dieſer Dichte pflegt man zur Vermeidung gar zu langer numeriſcher Ausdrücke die der atmoſphäriſchen Luft gleich 100,000 zu ſetzen. Hieraus folgt, für die Dichte d irgend eines Gaſes, deſſen ſpecifiſches Gewicht vorher durch $\frac{Q-P}{V}$ ausgedrückt wurde, gemäß der Proportion $d:100{,}000 = Q-P:P'-P$

$$d = \frac{Q-P}{P'-P}\cdot 100{,}000.$$

197. Man kann die Dichte eines Gaſes auch unmittelbar aus ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung berechnen, wenn die Dichte der Beſtandtheile und das Verhältniß, in welchem ſie ſich zu dem gegebenen Gaſe verbinden, ſo wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumenveränderung gegeben ſind. Geſetzt es beſtehe ein Gas aus a Raumtheilen eines Stoffes, deſſen Dichte d iſt, und aus a' Raumtheilen eines ſolchen, deſſen Dichte d' heißt, mithin im Ganzen aus $a+a'$ Raumtheilen. Da iſt nun ad die Maſſe des einen, $a'd'$ die Maſſe des anderen Beſtandtheiles, $ad+a'd'$ die Maſſe des Ganzen und $\frac{ad+a'd'}{a+a'}$ die Maſſe desſelben unter dem Volumen $=1$, alſo die Dichte des Gaſes, falls bei der Verbindung der beiden Beſtandtheile keine Ausdehnung oder Zuſammenziehung erfolgt iſt. Findet aber die eine oder die andere Statt, ſo ändert ſich dadurch die Dichte des Gaſes. Geſetzt es ſey bei der chemiſchen Verbindung der Beſtandtheile das Volumen $a+a'$ in A übergegangen und man bezeichne die Dichte des Gaſes mit D; ſo iſt offenbar $\frac{ad+a'd'}{a+a'}:D = A:a+a'$, mithin $D = \frac{ad+a'd'}{a+a'}\cdot\frac{a+a'}{A}$ oder wenn man $\frac{a+a'}{A} = b$ ſetzt, $D = \frac{ad+a'd'}{a+a'}\cdot b$.

Als Beiſpiel mag Ammoniakgas gelten. Dieſes beſteht aus 3 Theilen Waſſerſtoffgas und aus 1 Theil Stickgas. Weil erſteres die Dichte 0.07321, letzteres die Dichte 0.96913 hat und ſich die 4 Volumina der Beſtandtheile auf 2 zuſammenziehen; ſo iſt

$$a = 3,\ d = 0.07321,\quad ad = 0.21963$$
$$a' = 1,\ d' = 0.96913,\quad a'd' = 0.96913$$
$$b = 2,\ \text{mithin}$$

$\frac{ad+a'd'}{a+a} = 0.29719$, und $D = \frac{ad+a'd'}{a+a'}\cdot b = 0.59438$. Andere

directe Verſuche geben die Dichte dieſes Gaſes = 0.59669. — Man hat dieſe Methode ſogar auf Luftarten angewendet, die aus Stoffen beſtehen, welche nie luftförmig erſcheinen, und daraus auf das ſpec. Gewicht geſchloſſen, das ſie haben würden, wenn ſie luftförmig erſchienen.

Siehe hierüber den Suppl. S. 72 oder Gehler's Wörterbuch, neu bearbeitet. Art. Gewicht ſpecifiſches, wohl auch: *Traité de Physique expér. et math. par Biot. Paris* 1816. *tom. I. pag.* 347 *e. s.*

198. Von einem chemiſch einfachen Gaſe läßt ſich das ſpecifiſche Gewicht oder die Dichte mittelſt ſeines Atomengewichtes und der Dichte des Sauerſtoffgaſes (= 1,026), deſſen Atomengewicht = 100 geſetzt wird, aus einer einfachen Proportion berechnen. Z. B. Stickſtoff hat das Atomengewicht 88.518, mithin die Dichte s, welche ſich aus der Proportion $100:88.518 = 1.026:s$ ergibt. Man findet $s = 0.97599$ und directe Wägungen geben 0.976. Chlor hat das Atomengewicht 221.325, mithin die Dichte 2.4403. Durch Abwägen fand man es im Mittel = 2.4476.

Da die Dichten der Gaſe ſich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, ſo ſtehen ſie im verkehrten Verhältniſſe der ſpecifiſchen Expanſivkräfte (193) und man kann letztere leicht aus erſteren finden. — Folgende Tabelle gibt die Zahlenwerthe für einige Gaſe:

Gaſe.	Dichte.	Specifiſche Expanſivkraft.
Atmoſphäriſche Luft	1.0000	1.0000
Sauerſtoffgas	1.0259	0.9747
Stickgas	0.976	1.0245
Waſſerſtoffgas	0.0732	1.3661
Kohlenſäuregas	1.5196	0.6581
Ammoniakgas	0.5967	1.6758
Salzſäuregas	1.2474	0.8017
Chlorgas	2.476	0.4039
Kohlenoxydgas	0.4476	1.4039
Stickſtoffoxydgas	1.5252	0.6556
Salpetergas	1.0399	0.9616
Schwefelwaſſerſtoffgas	1.1912	0.8395
Öhlbildendes Gas	0.9706	1.0303
Flußſäuregas	2.3694	0.4220
Phosgengas	3.3894	0.2950

C. Gleichgewicht der Gaſe.

199. Alle jene Geſetze des Gleichgewichtes, welche für Flüſſigkeiten überhaupt aufgeſtellt wurden (141), ſind natürlich unbe-

ſchränkt auf Gaſe anwendbar, weil dieſe auch zu den Flüſſigkeiten gehören; von denjenigen Geſetzen hingegen, die für tropfbare Flüſſigkeiten erwieſen wurden, laſſen ſich nur jene auf Gaſe beziehen, die auf der Schwere beruhen und von der Ausdehnſamkeit unabhängig ſind.

200. Man denke ſich nun ein Gas in einem Gefäße und unterſuche Obigem gemäß die Bedingungen ſeines Gleichgewichtes, und zwar zuerſt für die oberſten Theile der Luftmaſſe. Jedes dieſer Theilchen ſucht vermöge ſeiner Schwere zu ſinken und vermöge ſeiner Ausdehnſamkeit ſich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Beſtreben, ſich ſeitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu ſinken, muß der Widerſtand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Beſtreben, ſich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnſamkeit der Gaſe ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum laſſen ſich auch Gaſe nicht wie tropfbare Flüſſigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unſerer Atmoſphäre, iſt eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußerſten Grenze die Ausdehnſamkeit der Luft ſehr gering iſt und darum mit der Schwere im Gleichgewichte ſtehen kann. Auf dieſer freien Oberfläche müſſen (141) die Richtungen der Schwere ſenkrecht ſtehen und dieſe daher nahe die Geſtalt einer Kugel haben. Daher ſagt man, die atmoſphäriſche Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche ſich im Inneren eines Gaſes befinden, werden nicht blos durch ihre Schwere, ſondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gasſäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müſſen durch ihre Ausdehnſamkeit und den Widerſtand der benachbarten Theile dieſem Drucke widerſtehen. Solche Theile, welche von dem Erdmittelpuncte gleich weit entfernt ſind, werden mit gleichen Kräften abwärts gedrückt und müſſen demnach auch gleiche Expanſivkräfte haben. In der Atmoſphäre ſoll, weil der Luftdruck durch die Barometerhöhe angezeigt wird, dieſem Geſetze gemäß, an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Mittelpuncte der Erde haben, die Barometerhöhe gleich groß ſeyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieſes wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verurſachen aber die beſtändigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen; doch ſtimmen auch hier die, aus vielen Beobachtungen

genommenen, mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck iſt offenbar deſto größer, je tiefer dieſes Theilchen unter der Oberfläche der Gasmaſſe liegt; darum muß auch die Ausdehnſamkeit und bei einerlei Temperatur auch die Dichte derſelben, von unten nach oben abnehmen. Dieſe Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft iſt in der Atmoſphäre ſehr merklich. Bringt man eine wohl verſchloſſene, Luft enthaltende, aber ſchlaffe Blaſe vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel desſelben; ſo findet man, daß ſie anſchwillt. Auch das Barometer ſinkt, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

In der Höhe von etwa 5 Meilen über der Erdoberfläche iſt die Luft ſo ſehr verdünnt, wie wir dieſes in unſern Laboratorien mit der beſten Luftpumpe kaum bewerkſtelligen können. Selbſt auf hohen Bergen hat ſie ſchon eine für die Lebensfunctionen des Menſchen zu geringe Dichte. Kommt man in die Höhe von 1500 W. K. und darüber, ſo ſtellet ſich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß faſt alle hundert Schritte einige Minuten ausruhen; dazu geſellt ſich ein läſtiges Ohrenſtechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen; man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beſchwerlich, der Puls ſchlägt ſchnell, oft tritt ſogar Neigung zum Erbrechen ein; ſelbſt Wunden heilen langſamer und Arzeneimittel wirken ſchwächer.

Der mittlere Barometerſtand, d. h. derjenige, welcher ſich aus ſehr vielen Beobachtungen im Durchſchnitte ergibt, beträgt an der Meeresfläche 28,895 W. Z., auf der Wiener Sternwarte (85 Klafter höher) 28,315, auf der Spitze des Montblanc fand ihn Sauſſure gar nur 16,108 P. Z. Von der Meeresfläche an, muß man 72½ Fuß ſteigen, um das Barometer um 1 Linie fallen zu machen.

201. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verurſacht, daß der Druck einer Luftſäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältniſſe mit der Entfernung von einer beſtimmten Horizontalebene abnimmt, ſondern daß dieſe Abnahme immer in einer geometriſchen Progreſſion geſchieht, während die Entfernungen von dieſer Ebene eine arithmetiſche Reihe bilden. Es ſey eine zwiſchen den verticalen Ax und By (Fig. 72) befindliche Luftſäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK in gleiche Schichten getheilt, die eine ſo geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe dieſe Luft in der $n$ten Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftſäule den

Druck P_n, wo n eine Zahl iſt, welche die Schichte angibt, für welche dieſe Größen gelten, ſo daß d_1, $d_2 \ldots p_1$, p_2, $\ldots P_1$, $P_2 \ldots$ ſich auf die erſte, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Baſis AB wird demnach durch P_o ausgedrückt. Da iſt nun $p_1 : p_n = d_1 : d_n$ und $P_1 : P_n = d_1 : d_n$, mithin auch $p_1 : p_n = P_1 : P_n$ oder $p_1 : P_1 = p_n : P_n$, woraus man erhält: $P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n$

Es iſt aber $P_1 + p_1 = P_o$, $P_n + p_n = P_{n-1}$, mithin auch $P_o : P_1 = P_{n-1} : P_n$ und daher $P_n = \frac{P_1}{P_o} \cdot P_{n-1}$. Setzt man für n ſucceſſive 1, 2, 3 ꝛc. und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_o} = Q$, ſo erhält man die Werthe $P_1 = Q \cdot P_o$, $P_2 = Q \cdot P_1 = Q^2 \cdot P_o$, $P_3 = Q \cdot P_2 = Q^3 \cdot P_o$ u. ſ. f. Es ſind alſo P_o, P_1, P_2, P_3 Glieder einer geometriſchen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG zu einer arithmetiſchen gehören. Dieſes Geſetz wird in der Wirklichkeit immer dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftſchichten dieſelbe iſt, die Schwere auf alle gleich ſtark wirkt, und das Mariotteſche Geſetz für jeden Grad der Dichte der Luft gültig iſt. So wie es ſich mit einem dieſer Puncte anders verhält, muß auch das genannte Geſetz der Abnahme des Luftdruckes anders ausfallen.

202. Die Geſetze des Gleichgewichtes ausdehnſamer und in dieſelben getauchter, feſter oder tropfbarer Körper ſtimmen mit denen genau überein, welche zwiſchen tropfbaren und darin befindlichen, feſten Maſſen aufgeſtellt worden ſind. Es verliert ein Körper in einem Gaſe ſo viel von ſeinem Gewichte, als die verdrängte Gasmaſſe wiegt. Darauf beruht ein manchmal berückſichtigungswerther Umſtand, der ſich beim Abwägen der Körper ereignet. Es ergibt ſich nämlich daraus, daß man beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann ſein abſolutes Gewicht richtig findet, wenn er mit dem Gewichte von gleicher Dichte iſt. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, ſo findet man es immer um ſo viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volumen beträgt, welches dem Unterſchiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich iſt. In den meiſten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man ſie nöthig, ſo iſt aus dem Vorhergehenden leicht erſichtlich, wie ſie zu machen ſey. (Suppl. 57.) — Auf demſelben Geſetze beruht

auch das Wagemanometer, ein Inſtrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage beſteht, an der ein Gewicht von ſehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte ſteht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel ſinken, weil ihr Gewichtsverluſt minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; ſobald die Luft dichter wird, muß ſie ſteigen. Es iſt leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand geſetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das ſpecifiſche Gewicht der Luft ſchließen zu können. Otto Guerike hat dieſes Inſtrument erfunden, Fouchy und Gerſtner haben es bedeutend verbeſſert. (Gerſtners Luftwage in den Beobachtungen auf Reiſen nach dem Rieſengebirge. Dresden, 1791.) Eine nothwendige Folge desſelben Geſetzes iſt auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volumen Luft, in dieſer aufſteigen muß. Hierauf gründet ſich das Steigen der, mit erwärmter atmoſphäriſcher Luft oder mit Waſſerſtoffgas gefüllten Luftballone. Dieſe verhalten ſich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Waſſer, nur mit dem Unterſchiede, daß ſie nicht bis zum Ende der Atmoſphäre ſteigen können, weil ſie in immer dünnere Luftſchichten kommen, ſo daß ſie nothwendig einmal eine erreichen, deren ſpecifiſches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Sie ließen am 5. Juli desſelben Jahres einen Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, ſteigen, indem ſie ihn durch erwärmte Luft auftrieben, die ihn auf eine Höhe von 6000 Fuß hob. Bald darauf ſendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Waſſerſtoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande vertrauten ſich zuerſt dieſem gefährlichen Fahrzeuge an, unter einem ſolchen Enthuſiasmus der Pariſer, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons faſt nicht mehr Aufſehen macht, als das Fallen einer Sternſchnuppe. Heut zu Tage verfertigt man die Luftballone aus Taffet, der zuerſt gehörig zugeſchnitten, dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überſtrichen wird. Die Stücke werden zuſammengenäht, und die Nähte mit demſelben Firniß überzogen. Der kleinſte kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmeſſer haben, einer aus Goldſchlägerhäutchen ſteigt ſchon, wenn er ſechs Zoll im Durchmeſſer hat. Garnerin's Luftballon hatte 30 F. im größ-

ten, 25 F. im kleinſten Durchmeſſer und faßte daher 10,400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wägen; es blieb ihm alſo eine Steigkraft von 520 Pfund.

Siehe hierüber: Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg, 1784. Anhang zur Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg, 1786. Zachariä Elemente der Luftſchwimmkunſt. Wittenberg, 1807.

203. Wenn zwei Gaſe, z. B. atmoſphäriſche Luft und Waſſerſtoffgas oder zwei Portionen desſelben Gaſes mit einander im Gleichgewichte ſtehen ſollen, ohne einander unmittelbar zu berühren, wie z. B. wenn ſich ein Gas in einer geſchloſſenen Blaſe befindet oder durch Waſſer von einem anderen getrennt iſt; ſo müſſen ſie mit gleichen Kräften auf einander wirken; denn widrigenfalls würde das eine von dem anderen ſo lange zuſammengedrückt werden, bis ihre Kräfte zur Gleichheit gebracht wären. Deshalb müſſen alle Veränderungen, die in der Expanſivkraft der atmoſphäriſchen Luft vorgehen, immer ähnliche in der Expanſivkraft derjenigen Luftarten hervorbringen, die mit ihr im Gleichgewichte ſtehen. Auf ein mit Waſſer oder Queckſilber abgeſperrtes Gas wirkt nur dann die atmoſphäriſche Luft mit ihrer ganzen Kraft, wenn die abſperrende Flüſſigkeit innerhalb und außerhalb des Recipienten gleich hoch ſteht. Oft ſteht dieſe innerhalb des Recipienten höher, als außerhalb desſelben; in dieſem Falle hat das Gas nur einen Theil des ganzen Luftdruckes zu ertragen. Es ſey a der Höhenunterſchied zwiſchen dem Stande der äußeren und inneren Flüſſigkeit, auf Queckſilber reducirt, b der äußere Barometerſtand und v das Volumen des Gaſes im Recipienten. Wird dieſes auf den ganzen Luftdruck reducirt, ſo geht das Volumen in v' über und man hat:

$$v : v' = b : b - a, \text{ d. i. } v' = \frac{b-a}{b} \cdot v$$

Aus dem hier erwähnten Geſetze erklären ſich auch: Die Wirkung des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Sicherheitsröhren, Gaſometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerſpritzen, die Wirkungen der Windbüchſe, das Saugen, Trinken, Tabakrauchen, und eine ungemeine Menge phyſikaliſcher Spielwerke, z. B. das magiſche Tintenfaß, der magiſche Trichter, der Öhlkrug der Witwe, das Sieb der Veſtalin, der Zauberbrunnen, die ſchwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m. (Letztere findet man größtentheils in *Wolſii Elementa Matheseos Gen.* 1746. *Tom.* 2. Oder in

den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorleſungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.)

Der Stechheber iſt eine wenige Fuß lange, beiderſeits offene und in der Mitte bedeutend erweiterte Röhre, mittelſt der man Flüſſigkeiten aus Fäſſern heraushebt, indem man ſie in ſelbe taucht, dazu noch meiſtens am oberen Ende ſaugt, dasſelbe ſchließt, und das Ganze herauszieht (Fig. 73).

Der gekrümmte Heber iſt eine unter 32 Fuß lange, gebogene Röhre, wovon ein Schenkel länger iſt als der andere (Fig. 74 u. 75). Füllt man eine ſolche Röhre mit einer Flüſſigkeit, z. B. Waſſer und wendet ſie dann um, ſo fließt dieſes gänzlich durch den längeren Schenkel heraus. Dieſes Phänomen beruht auf dem Drucke des Waſſers und der Luft. Das Waſſer drückt nämlich am längeren Schenkel abwärts mit einer Kraft $= P$, am kürzeren aber mit einer Kraft $= p$, und es iſt $P > p$. Die Luft drückt im erſteren Schenkel aufwärts mit einer Kraft Q, und im zweiten mit der Kraft q, und man kann immer ſetzen $Q = q$. Es iſt ſtets $Q > P$ und deſto mehr $Q > p$. Man hat alſo als Reſultirende beider Kräfte am längeren Arm $Q - P$, am kürzeren $q - p$, und beide dieſer Kräfte ſind aufwärts gerichtet. Es iſt aber $Q - P < q - p$, mithin wirkt die Reſultirende aus $Q - P$ und $q - p$ am längeren Schenkel abwärts.

Eine Sicherheitsröhre nennt man eine beiderſeits offene Röhre, die man an einem Gasrecipienten anbringt, um den Grad der Ausdehnſamkeit des darin befindlichen Gaſes zu erkennen, und dem Zerſpringen des Gefäßes vorbeugen zu können. Es ſey A (Fig. 76) eine zweihalſige Flaſche, die zum Theil mit Waſſer, oder einer anderen Flüſſigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt iſt, und a die Sicherheitsröhre, welche bis nahe an den Boden der Flaſche reicht. Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expanſivkraft, ſo wird auch die Flüſſigkeit in der Flaſche und in der Röhre gleich hoch ſtehen; ſo wie aber die Expanſivkraft des Gaſes zunimmt, ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre, bis ihr der Druck der flüſſigen Säule, verſtärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht hält. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüſſigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas abſorbirt wird, oder ob neues hinzukommt, vorausgeſetzt, daß Temperatur und Luftdruck beſtändig bleiben. Damit eine ſolche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüſſigkeit faſſe, und dieſe das Gas doch nicht zu ſtark zurückdrücke, biegt man ſie und bringt an gewiſſen Stellen kugelförmige Erweiterungen B an. Eine ſolche Röhre wie B heißt eine Welter'ſche Sicherheitsröhre.

Gaſometer nennt man jene luftdichten Gefäße, aus denen man ein Gas in einem regelmäßigen Strome in ein anderes hinüberleiten kann. Es ſey A (Fig. 77) ein oben offenes Gefäß, das

Waſſer oder Queckſilber ꝛc. enthält und B ein anderes kleineres darüber geſtürztes, deſſen Gewicht ſo eingerichtet iſt, daß es in der Flüſſigkeit, welche A enthält, untertaucht. Enthält nun B ein Gas und hat A eine nach außen communicirende Röhre C; ſo wird dieſes Gas durch den Druck des oberen Gefäßes durch die Röhre herausgetrieben. Um einen gleichförmigen Gasſtrom zu erhalten, braucht man ziemlich complicirte Einrichtungen an B.

Ein Blasbalg iſt ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kaſten, deſſen innerer Raum ſich vergrößern und verkleinern läßt, und beim Erweitern durch eine enge Öffnung Luft ſchöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Öffnung entweichen läßt.

Der Heronsball (Fig. 78) iſt ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre verſehen, übrigens aber luftdicht verſchloſſen iſt. — Füllt man es zum Theil mit Waſſer und verdichtet dann die innere Luft, ſo ſpringt erſteres durch die Röhre heraus.

Der Heronsbrunnen (Fig. 79) iſt ein Heronsball, der mit einem anderen, luftdichten Gefäße mittelſt zwei Röhren verbunden iſt, wovon die eine am oberen Boden des unteren Gefäßes anfängt, und in der Nähe des oberen Bodens des Heronsballs aufhört, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, ſich daſelbſt nach außen öffnet, und mit dem anderen Ende bis an den unteren Boden des Gefäßes reicht. Fängt das Waſſer aus dem Heronsball zu ſpringen an, ſo ſammelt es ſich in einem eigenen, tellerförmigen Aufſatz, und fließt durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt, und daſelbſt ein ferneres Hervorſpringen des Waſſers bewirkt.

Eine Saugpumpe (Fig. 80) beſteht aus einer höchſtens 28 Fuß langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Waſſer getaucht iſt, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung ſteht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden iſt, hat letzterer ein Ventil c, das ſich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt. Dieſes macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt, und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens ſteigt ſie über ſein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieſer Luftverdünnung in der Saugröhre ſteht das Steigen des Waſſers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenſpiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e.

Die Druckpumpe (Fig. 81) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das ſich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht ſchließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befin-

findet ſich eine aufwärts gekrümmte Röhre *c* (Steigröhre) mit einem Ventile *d*, das ſich von Innen nach Außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Waſſer in den Stiefel geſtiegen iſt, ſo wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurückläßt, ſelbſt wenn der Kolben gehoben wird, ſo kommt es mit jedem Kolbenſtoße höher zu ſtehen und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung *e*.

Die Feuerſpritze (Fig. 82) beſteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen *a*, *a*, die das Waſſer in einen Heronsball *b* pumpen, aus welchem es mittelſt eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorſpritzt.

Die Windbüchſe (Fig. 83) beſteht aus einem ſehr ſtarken metallenen Gefäße *a* (Flaſche), in welchem die Luft ſtark (etwa 60mal) verdichtet worden iſt, und das durch eine Klappe verſchloſſen wird, die ſich von Außen nach Innen öffnet. An die Flaſche iſt das Rohr *b* angeſetzt, aus welchem eine Kugel ausgeſchoſſen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flaſche geöffnet wird.

204. Zwei Luftmaſſen, die mit einander in unmittelbarer Berührung ſtehen und ſich nicht chemiſch mit einander miſchen, können auf zweierlei Art mit einander im Gleichgewichte ſtehen, 1) indem ſie ſich nach Maßgabe ihres ſpecifiſchen Gewichtes über einander lagern, 2) indem ſie ſich ſo mit einander vermengen, daß ſie ein gleichartiges Ganzes darſtellen. Nur im letzteren Falle iſt ihr Gleichgewicht ſtabil. Dieſe Wahrheit läßt ſich ſtreng erweiſen und liegt ſchon in der Natur ausdehnſamer Körper. Man begreift daraus, daß luftartige Stoffe von verſchiedenem ſpecifiſchen Gewichte nicht über einander gelagert bleiben, ſondern ſich ſtets nach Verhältniß ihrer Quantität mit einander gleichförmig mengen. Der ganze Unterſchied in der Verbreitung eines Gaſes in einem leeren und einem ſchon von einem andern Gaſe eingenommenen Raume beſteht nur darin, daß ſie im letzteren langſamer vor ſich geht, indem ein Gas für das andere nur ein mechaniſches Hinderniß iſt und deſſen Verbreitung eben ſo verzögert, wie Sand die Verbreitung des Waſſers. Die Schnelligkeit der Verbreitung eines Gaſes in einem andern richtet ſich nach der Dichte dieſer Gaſe und wächſt, wenn ihre Dichte abnimmt, aber nicht im Verhältniſſe der Dichte, ſondern in einem kleineren. Je mehr von einem Gaſe in ein anderes bereits übergegangen iſt, deſto langſamer erfolgt die weitere Verbreitung desſelben; von einem ſchon gemiſchten Gaſe entweicht deſſen verbreitungsfähigerer Theil verhältnißmäßig ſchneller, als er

im geſonderten Zuſtande gethan hätte. Die Verbreitung eines Gaſes erfolgt auch durch die Zwiſchenräume feſter Körper, z. B. einer Blaſe, des Porzellans, und zwar deſto leichter, je höher die Temperatur iſt. (Dalton's chemiſcher Theil der Naturwiſſenſchaft. Berlin 1812. Bd. 1.170.)

Nach Graham's Verſuchen entwichen aus einem 150 Th. faſſenden Recipienten, deſſen Inneres mit der atmoſphäriſchen Luft durch eine enge Glasröhre communicirte, in 10 St. von Waſſerſtoffgas 141.7, von Kohlenwaſſerſtoff in Min. 94, von Ammoniakgas 89, von Öhl bildendem Gas 72.5, von Kohlenſäuregas 70.5, von ſchwefeligſaurem Gas 69, von Chlorgas 59 Theile. Von einer Miſchung aus 75 Th. Öhl bildendem Gas und 75 Th. Waſſerſtoffgas entwichen in 10 St. 18.4 des erſteren und 71.5 des letzteren. (Schweigg. J. 57. 215.)

205. Wendet man dieſe Geſetze auf unſere Atmoſphäre an, ſo gewinnt man die Überzeugung, daß jeder Beſtandtheil der atmoſphäriſchen Luft eine eigene Schichte um die Erde bildet, welche unabhängig von den übrigen Schichten (nach den in 200 erörterten Geſetzen) mit ſich ſelbſt im Gleichgewichte ſteht. Der Druck, welchen die Atmoſphäre auf einen Körper ausübt, iſt demnach aus dem Drucke jeder einzelnen dieſer Atmoſphären zuſammengeſetzt und der Summe derſelben gleich. Der Druck jeder einzelnen Atmoſphäre wird durch das ſpeciſiſche Gewicht des betreffenden Gaſes und durch das Mengungsverhältniß, in welchem es in der Atmoſphäre vorkommt, beſtimmt. Beträgt z. B. der Druck einer Atmoſphäre, die aus 79 Th. Stickgas und aus 21 Th. Sauerſtoffgas beſteht, bei 0° *C.* 28 Zoll; ſo kommt auf Rechnung des erſteren Gaſes, deſſen Dichte 0.976 iſt, 22.6, auf Rechnung des letzteren hingegen 5.4.

206. Die in 204 aufgeſtellten Geſetze des Gleichgewichtes der Gaſe gelten auch für abſorbirte Gaſe. Es werden nämlich Gaſe von poröſen, feſten und tropfbaren Körpern eingeſaugt (abſorbirt) und dadurch auf eine geringere ſpeciſiſche Expanſivkraft gebracht, ſo daß ſie, um eine beſtimmte abſolute Expanſivkraft zu erlangen, eine größere Dichte brauchen als im freien Zuſtande. So z. B. abſorbiren friſch gebrannte Kohle, poröſes Holz, Meerſchaum, Wollen- und Seidenzeuge Gaſe bis zu einem gewiſſen, von der Natur des Gaſes und der abſorbirenden Subſtanz beſtimmten Grade, und das abſorbirte Gas ſteht nach denſelben Geſetzen mit dem freien im Gleichgewichte, welche freie Gaſe befolgen,

wenn man auf die Verminderung ihrer ſpecifiſchen Expanſivkraft durch die Abſorption Rückſicht nimmt. Man denke ſich z. B. Waſſer mit Sauerſtoffgas in Berührung, einen Theil desſelben bereits abſorbirt und das freie Gas mit dem abſorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gaſes vermehrt, ſo muß auch die des abſorbirten zunehmen, welches durch Abſorption eines neuen Quantums geſchieht, wenn das Gleichgewicht bei dieſer Lage der Dinge fortdauern ſoll. Auf gleiche Weiſe muß ein Theil des abſorbirten Gaſes frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Ändert ſich die Temperatur des Gaſes und der abſorbirenden Flüſſigkeit, ſo nehmen zwar die Expanſivkräfte des freien und des abſorbirten Gaſes auf gleiche Weiſe ab oder zu, aber der Erfolg fällt verſchieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Iſt erſteres der Fall, ſo bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gaſes auf die Flüſſigkeit derſelbe, während die Spannkraft des abſorbirten ſich ändert und beim Erwärmen wächſt, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des abſorbirten Gaſes frei gelaſſen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum abſorbirt werden, abgeſehen von der etwa durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Modification des Abſorptionsvermögens der Flüſſigkeit. Nach Henry's Verſuchen abſorbirt Waſſer nach einer Temperaturerhöhung von 10° *C.* um 0.133 weniger Luft als vor derſelben. Iſt die freie Luft ſo eingeſchloſſen, daß ſie nicht entweichen kann, ſo bringt eine Temperaturänderung im freien und im abſorbirten Gaſe dieſelbe Änderung der Expanſivkraft hervor und es wird das abſorbirte Gas weder vermehrt noch vermindert. Dieſes iſt das von Dalton auf empiriſchem Wege gefundene Geſetz, vermög welchem das Verhältniß zwiſchen dem abſorbirten und dem freien Gaſe bei jedem Temperaturwechſel unverändert bleibt, wenn nur die tropfbare Flüſſigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüſſigkeit, die ſchon Gas abſorbirt hat, eine andere Luftart; ſo wird zur Herſtellung eines ſtabilen Gleichgewichtes ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, ein Theil des freien abſorbirt und es tritt ſowohl im abſorbirten als im freien Gaſe eine gleichförmige Mengung beider ein, wobei alles ſich ſo verhält, als übte ein Gas auf das andere gar keine Wirkung aus. Kommt eine Flüſſigkeit mit zwei Gaſen zugleich in Berührung, ſo nimmt ſie von jedem einen

Theil auf, der ſich nach der Einſaugbarkeit desſelben und nach dem Verhältniſſe, in welchem die Gaſe gemengt ſind, richtet. Befindet ſich ein Gas in einem poröſen Gefäße und ſind die Poren von einer Flüſſigkeit erfüllt, welche das äußere Gas zu abſorbiren vermag; ſo wird letzteres Gas durch die Flüſſigkeit in das Gefäß gebracht und kann daſelbſt bis zum Berſten des Gefäßes angehäuft werden. Gibt man eine naſſe, mit atmoſphäriſcher Luft zum Theil gefüllte Blaſe in eine Kohlenſäure-Atmoſphäre; ſo ſaugt das Waſſer das kohlenſaure Gas ein und läßt es im Innern, wo es mit der atmoſphäriſchen Luft in Berührung ſteht, wieder frei, wodurch die Blaſe bis zum Berſten anſchwillt. Nimmt die Blaſe kein Kohlenſäuregas mehr auf, ſo kann ſie doch noch ein anderes vom Waſſer abſorbirtes Gas, z. B. Schwefelwaſſerſtoffgas, aufnehmen. (Zeitſch. 8. 9. Gehler's Wörterbuch, neu bearbeitet. Art. Abſorption der Gaſe.)

Dieſe Geſetze des Gleichgewichtes abſorbirter Gaſe mit freien ſind nicht blos in theoretiſcher Hinſicht wichtig, ſondern geſtatten vielfache practiſche Anwendungen. Sie lehren z. B., daß es nothwendig ſey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Queckſilber beſtändig Luft eingeſaugt wird; daß man auf die Reinheit eines Gaſes, das längere Zeit durch Waſſer oder Queckſilber geſperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen darf. Faraday fand reines Waſſerſtoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropf verſehenen, umgekehrten Flaſche, deren Hals in Queckſilber geſenkt war, aufbewahrte, nach 15 Monaten, völlig durch atmoſphäriſche Luft erſetzt; zwei andere eben ſo vorgerichtete Flaſchen enthielten nach derſelben Zeit ein Gemenge von Waſſerſtoffgas und atmoſphäriſcher Luft. (Pogg. Ann. 8. 124.) Aus denſelben Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, eine Flüſſigkeit mit einem Gaſe zu imprägniren oder ſie von einem abſorbirten Gaſe zu befreien. Soll eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, viel von einem Gas, z. B. von Kohlenſäuregas aufnehmen (welches beſonders bei der Bereitung vieler künſtlicher Mineralwäſſer der Fall iſt); ſo muß man das freie Gas über der Flüſſigkeit möglichſt ſtark comprimiren und die Arbeit bei einer den Eispunct nicht weit überſteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verſchloſſene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unſer Zuthun mit ſtark verdichtetem Kohlenſäuregas in Berührung, und nehmen daher ſehr viel davon auf. Um eine Flüſſigkeit von der eingeſaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf laſtenden Luftdruck auf $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ ꝛc. herab, ſo wird auch nur $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ ꝛc. des eingeſaugten Gaſes zurückbleiben. Die

Wirkſamkeit dieſes Mittels verurſacht das Perlen mouſſirender Weine, der Mineralwäſſer, wenn man eine Flaſche derſelben öffnet. Indeß gibt es doch Gaſe, wie z. B. Ammoniakgas, Salzſäuregas, wovon ſelbſt im luftleeren Raum ein Theil mit Waſſer in Verbindung bleibt. Ich bin geneigt, dieſes als ein Zeichen einer chemiſchen Verbindung des Gaſes mit der tropfbaren Flüſſigkeit zu betrachten, und in allen anderen Fällen die Abſorption als mechaniſche Wirkung anzuſehen. 2) Veränderung des damit in Berührung ſtehenden Gaſes. Dadurch wird zwar ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, dafür aber ein Theil des neuen Gaſes abſorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblaſen im Eiſe. 4) Zuſatz eines gepulverten Stoffes oder eines ſolchen, der ſich in der Flüſſigkeit auflöſet und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas abſorbirt. So z. B. läßt Waſſer die eingeſaugte Luft größtentheils fahren, wenn man Schwefelſäure oder Kochſalz damit miſcht.

D. Gleichgewicht der Dünſte.

207. Man weiß ſeit undenklichen Zeiten, daß Waſſer, der freien Luft bei der gewöhnlichen Temperatur in einem offenen Gefäße ausgeſetzt, fortwährend weniger wird und endlich ganz verſchwindet; etwas Ähnliches bemerkte man auch beim Sieden desſelben, nur mit dem Unterſchiede, daß hier die Verminderung viel ſchneller eintritt. In letzterem Falle konnte man nicht läugnen, daß die tropfbare Maſſe in einen luftartigen Körper, in Waſſerdunſt übergeht, im erſteren aber ſah man am Luftdrucke ein Hinderniß der Bildung des Dunſtes und nahm darum an, das Waſſer werde von der Luft eben ſo aufgelöſet, wie z. B. Kochſalz vom Waſſer. Einige Phyſiker, wie z. B. Sauſſure, ließen wohl das Waſſer auch unter der Siedhitze in einen ausdehnſamen Körper übergehen, meinten aber, es werde dieſer erſt nachher von der Luft aufgelöſet. Allein theils die früher bewieſenen Geſetze des Gleichgewichtes der Gaſe (204), unter welchen auch der Waſſerdunſt als expanſibler Körper ſtehen muß, insbeſondere aber die folgenden Verſuche, aus denen hervorgeht, daß das Waſſer und jede andere tropfbare Flüſſigkeit im luftleeren Raume, wo an keine Auflöſung zu denken iſt, nach denſelben Geſetzen verdünſtet, wie in der Luft, und daß der Dunſt die Eigenſchaften, welche er im luftleeren Raume beſitzt, in jeder Luftart unverändert beibehält, laſſen keinen Zweifel übrig, daß Flüſſigkeiten auch unter ihrer Siedhitze verdunſten und daß der

Dunſt in jeder Luftart wirklich eben ſo ſelbſtſtändig beſteht, wie ein Gas in dem anderen.

208. Um die Eigenſchaften der Dünſte und die daraus fließenden Geſetze, nach welchen ſie unter ſich und mit anderen Kräften ins Gleichgewicht treten, kennen zu lernen, bedient man ſich am beſten des von Dalton gebrauchten Apparates, den Fig. 84 vorſtellt. Man bringt nämlich in den leeren Raum einer Barometerröhre *a*, die der Länge nach in gleiche Theile getheilt iſt, einige Tropfen reinen Waſſers oder einer anderen Flüſſigkeit, deren Dünſte man unterſuchen will. Die Barometerröhre umgibt man mit einer weiteren Röhre *b* von Glas, die oben offen iſt, und durch deren Boden die Barometerröhre luftdicht geſchoben wird, füllt den Zwiſchenraum mit Waſſer aus, bringt dieſes nach und nach auf verſchiedene Temperaturen, die man mittelſt eines Thermometers mit cylindriſchem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Länge der Queckſilberſäule in dieſem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterſchied dieſer zwei Längen gibt offenbar die Größe der Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte an. Man kann in den oberen Raum eines ſolchen Barometers auch etwas atmoſphäriſche Luft oder ein anderes Gas bringen und auch unter dieſen Umſtänden die Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte kennen lernen. Für höhere Temperaturen bedient man ſich einer, der heberförmigen Röhre *ab* (Fig. 85) ähnlichen Vorrichtung, in deren geſchloſſenen Arm *b* man die Flüſſigkeit bringt, um deren Dünſte es ſich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Queckſilber und ſetzt den Apparat wieder den entſprechenden Temperaturen aus. So wie dem Dunſte eine Spannkraft entſpricht, die größer iſt, als der auf die eingeſperrte Flüſſigkeit ausgeübte Druck von Seite der Queckſilberſäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Queckſilber im eingeſchloſſenen Schenkel herabgedrückt und die Differenz zwiſchen der Länge der Queckſilberſäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Queckſilber im verſchloſſenen Arme höher ſteht als im offenen, iſt wieder das Maß der Expanſivkraft der Dünſte. Für Temperaturen unter dem Eispuncte, wo das in der äußeren Röhre (Fig. 84) entſtandene Eis keine Beobachtung des Standes der Queckſilberſäule mehr erlaubt, hat Gay-Luſſac ſeine Barometerröhre am oberen Ende ſchief gebogen (Fig. 86) und ſie daſelbſt in eine erkältende Miſchung getaucht. Da müſſen alle Dünſte in der Röhre die Spann-

kraft annehmen, welche der mindeſten daſelbſt herrſchenden Temperatur entſpricht, und man kann ſie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieſes Barometers und eines anderen daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Waſſerdunſtes, deſſen Verhalten den Phyſiker am meiſten intereſſirt, bei jeder herrſchenden Temperatur der Atmoſphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 87 abgebildete Vorrichtung, die gleichſam ein abgekürztes, gleichſchenkeliges, ganz geſchloſſenes Heberbarometer vorſtellt, in deſſen einem Arme ſich etwas Waſſer befindet, das den Dunſt liefert. Da gibt der Höhenunterſchied der Queckſilberſäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünſte an.

209. Mittelſt ſolcher Apparate hat man ſich überzeugt, daß ſich bei jeder Temperatur über 0° *C.* und ſogar noch weit unter 0° *C.* bis zu einer noch unbeſtimmten Grenze Waſſerdunſt bildet und beſteht, und eine gewiſſe Spannkraft und Dichte erlangen kann, welche nur von der Temperatur abhängt und ſich nicht, wie dieſes bei Gaſen der Fall iſt, durch Verminderung des Volumens vergrößern läßt; denn ſo wie eine ſolche Raumverminderung eintritt, geht ein Theil der Dünſte in tropfbares Waſſer über und der Reſt hat wieder ſeine vorige Expanſivkraft und Dichte. Dieſe iſt daher für die herrſchende Temperatur ein Maximum. Dieſes Maximum der Dichte und Expanſivkraft wächſt mit der Temperatur, jedoch in einem größeren Verhältniſſe als letztere. Werden Dünſte, die nicht mit Waſſer in Berührung ſtehen, erwärmt, ſo dehnen ſie ſich wie Gaſe aus (für 1° *C.* um 0.00375 ihres Volumens bei 0° *C.*) und nehmen eben ſo an Spannkraft zu; werden ſie abgekühlt, ſo ziehen ſie ſich zuſammen, bis ihre Spannkraft das der herabgeſetzten Temperatur entſprechende Maximum erreicht hat. Dünſte, die mit Waſſer in Berührung ſtehen, verhalten ſich beim Abkühlen, wie die im vorhergehenden Falle, beim Erwärmen werden aber nicht blos die ſchon vorhandenen ausdehnſamer, ſondern es entſtehen auch neue, bis das Maximum der Spannkraft erreicht iſt. Unter dieſem Maximum befolgen Dünſte auch das Mariotteſche Geſetz. Die folgende Tafel gibt das Maximum der Spannkraft der Waſſerdünſte von —20° bis 110° *C.*, wie ſie ſich aus Dalton's Verſuchen mittelſt einer beſonderm von Biot deducirten Formel ergeben.

Temperatur nach *C.*	Spannkraft in W.Linien	Temperatur nach *C.*	Spannkraft in W.Linien	Temperatur nach *C.*	Spannkraft in W.Linien	Temperatur nach *C.*	Spannkraft in W.Linien
— 20	0.607	— 5	1.667	10	4.317	25	10.519
19	0.651	4	1.780	11	4.589	26	11.139
18	0.697	3	1.900	12	4.878	27	11.790
17	0.729	2	2.026	13	5.184	28	12.476
16	0.799	1	2.162	14	5.506	29	13.232
15	0.856	0	2.305	15	5.848	30	13.959
14	0.916	+ 1	2.457	16	6.209	35	18.406
13	0.980	2	2.619	17	6.592	40	24.143
12	1.049	3	2.789	18	6.994	50	40.461
11	1.121	4	2.972	19	7.420	60	65.900
10	1.199	5	3.165	20	7.887	70	104. 34
9	1.281	6	3.369	21	8.344	80	160. 39
8	1.369	7	3.586	22	8.845	90	239. 29
7	1.462	8	3.815	23	9.374	100	345. 42
6	1.561	9	4.058	24	9.933	110	485. 59

Dieſe Spannkräfte kommen aber nur den aus reinem Waſſer entſtandenen Dünſten zu; für Dünſte aus Waſſer, welches Salz oder andere Körper aufgelöſet enthält, fallen ſie geringer aus.

Nach Gay-Luſſac beträgt die Spannkraft der Dünſte aus einer wäſſerigen Kochſalzlöſung von der Dichte 1.096 bei 10° *C.* nur etwa 0.9, die aus Schwefelſäure von der Dichte 1.493 entſtandenen nur 0.18 derjenigen Spannkraft, welche den aus reinem Waſſer gebildeten bei derſelben Temperatur zukommt. Nach Prinſep (Zeitſch. 2. 29) bleibt dieſes Verhältniß für alle Temperaturen gleich.

210. Waſſerdünſte, die ſich in der Luft bilden oder derſelben beigemengt werden, vermengen ſich gleichförmig mit ihr, und verhalten ſich da ſo wie im leeren Raume, ſind auch derſelben Spannkraft fähig, wie in dieſem. Von letzterem überzeugt man ſich mittelſt des Apparates Fig. 88. Dieſer beſteht aus einem zweiſchenkeligen Gefäße *AB*. Der Arm *A* iſt oben mit zwei Hähnen *a* und *b*, unten mit einem Hahne *c* verſehen und bedeutend weiter als der Arm *B*. Der Hahn *a* iſt nur zur Hälfte durchbohrt und bildet auf dieſe Weiſe ein kleines Schälchen, die Hähne *b* und *c* hingegen haben eine vollkommene Bohrung zum Öffnen und Verſchließen des Armes *A*. Der Arm *B* iſt offen. Gießt man in dieſen Queckſilber, während der Hahn *b* offen, *c* verſchloſſen, *a* aber ganz abgeſchraubt iſt; ſo ſtellt ſich dieſes in beiden Armen

ins Gleichgewicht. Wird nun a angeſchraubt und ſo gedreht, daß die Bohrung aufwärts gekehrt iſt, dann ein Tropfen Waſſer hineingegeben und hierauf ſo gewendet, daß dieſer Tropfen in das Gefäß A falle, und dieſes Verfahren ſo oft wiederholt, bis eine hinreichende Waſſermenge in A iſt; ſo wird man bald aus dem Sinken der Queckſilberſäule auf das Entſtehen von Dünſten ſchließen können. Sobald Gleichgewicht eingetreten iſt, hat der Dunſt, in der Vorausſetzung, daß A eine hinreichende Waſſermenge enthält, ſeine größte Spannkraft und Dichte erlangt. Um nun das Queckſilber in beiden Armen des Inſtrumentes auf einerlei Höhe zu bringen, laſſe man durch Öffnen des Hahnes c etwas davon heraus. Hat ſich nun durch die Beimengung der Dünſte das Volumen v der Luft in A bis v' vergrößert; ſo hat die Spannkraft der Luft in dem Verhältniſſe $v' : v$ abgenommen und iſt nun, wenn ſie vor der Beimengung der Dünſte $= p$ war, in $p \cdot \frac{v}{v'}$ übergegangen, (wo p durch den äußern Barometerſtand gegeben iſt). Heißt e die Expanſivkraft des gebildeten Dunſtes, ſo muß nun $e + p \cdot \frac{v}{v'} = p$ ſeyn, weil das Gemenge aus Luft und Dunſt wieder den ganzen Luftdruck zu ertragen hat, und man erhält:

$$e = \frac{p(v' - v)}{v'}$$

Bei mehreren wirklich angeſtellten Verſuchen ſtimmte der Werth von e mit dem im leeren Raume beobachteten genau überein.

211. Die Dünſte anderer Flüſſigkeiten befolgen dieſelben Geſetze, wie die des Waſſers, aber die Expanſivkraft derſelben weicht von jener der Waſſerdünſte ab und iſt überhaupt für dieſelbe Temperatur deſto kleiner, je ſchwerer die Flüſſigkeit ſiedet. So z. B. liefert Queckſilber bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, wo die Spannkraft der Waſſerdünſte ſchon bedeutend iſt, Dünſte von ſo geringer Spannkraft, daß ſie ſelbſt im Barometer keine merkliche Depreſſion erzeugen.

212. Die vorhergehenden Unterſuchungen lehren die abſolute Expanſivkraft der Dünſte kennen. Zur Kenntniß der ſpecifiſchen gelangt man durch die Dichte der Dünſte im Verhältniſſe zur Luft unter denſelben Umſtänden, indem die Dichten bei gleichen abſoluten Expanſivkräften den ſpecifiſchen verkehrt proportionirt ſind. Um die Dichte des Dunſtes irgend einer Flüſſigkeit zu finden, iſt es noth-

wendig, eine genau abgewogene Menge dieſer Flüſſigkeit in einen geſchloſſenen Raum zu bringen, ſie in Dunſt zu verwandeln und das Volumen desſelben zu beſtimmen. Dahin gelangte Gay-Luſſac durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zuſtande abgewogen, hierauf mit Waſſer gefüllt, zugeſchmolzen, wieder gewogen und ſo das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieſes Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Queckſilber gefüllten Recipienten gebracht und derſelbe erhitzt, bis das Waſſer die Glashülle zerſprengte, wo ſich dann Dunſt bildete, deſſen Volumen man meſſen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleichwarmen Luftmaſſe vergleichen konnte. Bevor dieſes geſchah, mußte der Dunſt nach dem Mariotteſchen Geſetze auf den vollen Luftdruck (201) reducirt werden. So fand man, daß Waſſerdunſt bei 100° *C.* und 28 Z. Barometerhöhe 1700mal leichter iſt als gleichwarmes Waſſer, und daß überhaupt die Dichte desſelben $\frac{10}{16}$ von jener der Luft unter denſelben Umſtänden beträgt. Auf gleiche Weiſe fand man die Dichte des Alkoholdunſtes 1.6084, die des Schwefelätherdunſtes 2.6467; die der atmoſphäriſchen Luft als Einheit angenommen. Es iſt demnach die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerdunſtes = 1.6, des Alkoholdunſtes = 0.6216, des Schwefelätherdunſtes = 0.3781.

213. Von großer Wichtigkeit iſt in manchem Falle die Frage, wie viel Dunſt in einem gegebenen Raume enthalten ſey. Man könnte dieſe Frage zwar dadurch beantworten, daß man die durch Aufnahme der Dünſte entſtandene Gewichtszunahme eines abſorbirenden Körpers in einem bekannten Raume beſtimmte; (Brunner in Pogg. Ann. 20.274.) doch iſt dieſes Verfahren in den meiſten Fällen zu ſchwierig und man berechnet den Dunſtgehalt lieber aus der gefundenen Expanſivkraft der Dünſte. Dieſe Rechnung wird auf gleiche Weiſe geführt, es mag ſich in dieſem Raume nebſt dem Dunſte noch Luft befinden oder nicht, weil ein beſtimmter Raum in beiden Fällen gleich viel Dunſt faſſen kann, und die geſuchte Dunſtmaſſe iſt ſo groß, wie $\frac{10}{16}$ der Luftmaſſe, welche derſelbe Raum bei der herrſchenden Temperatur und unter jenem Drucke faſſen kann, welcher der Expanſivkraft des Dunſtes gleich iſt. Es lauft demnach alles darauf hinaus, die Expanſivkraft des Dunſtes in einem Raume zu finden. Dieſes hat keine Schwierigkeit, wenn der Raum mit Dunſt geſättiget iſt, d. h. wenn der Dunſt das Maximum ſeiner Expan-

ſivkraft für die beſtehende Temperatur hat; denn dieſe gibt die Tafel 209 an; iſt aber dieſes nicht der Fall, ſo muß man ſich zur Beſtimmung der Expanſivkraft beſonderer Werkzeuge bedienen, die man Hygrometer nennt.

214. Die Hygrometer laſſen ſich in zwei Klaſſen theilen. Die der einen Klaſſe geben zunächſt, wenn auch nicht unmittelbar, die abſolute Expanſivkraft der Dünſte an, wie man ſie zur Löſung der vorhergehenden Aufgabe braucht; die in die andere Klaſſe gehörigen führen zunächſt zur Kenntniß der relativen Spannkraft, d. h. derjenigen, welche anzeigt, wie viel Percent der abſoluten, für die obwaltenden Umſtände möglichen Spannkraft die Spannkraft der vorhandenen Dünſte beträgt. Man kann leicht die Angaben der einen in die der anderen verwandeln. Iſt e die abſolute Spannkraft der vorhandenen Dünſte, η die relative Spannkraft derſelben, E das Maximum der Spannkraft für die herrſchende Temperatur; ſo iſt $E:e=100:\eta$, mithin $\eta=\frac{e}{E}.100$ und $e=\frac{1}{100}E\eta$. Die relative Spannkraft kann man auch füglich den Feuchtigkeitsgrad nennen; denn die Größe der Kraft, welche ein Körper braucht, um die Dünſte zu condenſiren und ſich das Waſſer anzueignen, hängt blos von dieſer Spannkraft ab und wächſt ſo, wie der Abſtand dieſer Spannkraft vom Maximum (= 100) zunimmt.

215. Um die Einrichtung der Inſtrumente der erſten Klaſſe und ihre eigentlichen Leiſtungen kennen zu lernen, denke man ſich einen Raum, welcher die Dünſte enthält, deren Expanſivkraft geſucht wird, der aber nicht damit geſättiget iſt. Verdichtet man dieſe Dünſte durch Verkleinerung ihres Volumens, bis ſie ſich in kleinen Tropfen abzuſetzen anfangen, ſo haben ſie das Maximum ihrer Spannkraft überſchritten; verfährt man aber mit dieſer Raumverminderung langſam und läßt die comprimirende Kraft nur um kleine Grade wachſen, ſo kann man den Raum in dem Momente, wo die Verdichtung des Dunſtes ſichtbar zu werden anfängt, als im Zuſtande der Sättigung befindlich anſehen, die dieſem Zuſtande entſprechende Spannkraft aus der Tafel 209 entnehmen und ſie in dem Verhältniſſe vermindern, in welchem das Dunſtvolumen verkleinert werden mußte. Ein Apparat, wie der in Fig. 68 abgebildete, in deſſen verſchloſſenem Schenkel die Dünſte befindlich ſind, deren Volumen durch Zugießen von Queckſilber durch den offenen

Arm *AB* ſucceſſiv verkleinert werden kann, wäre daher ſchon ein Hygrometer. Herapath hat wirklich ein ſolches Hygrometer empfohlen. Allein die Beſtimmung des Punctes der größten Spannkraft der Dünſte iſt auf dieſem Wege zu ſchwierig und zu unſicher; beſſer gelangt man zum Ziele, wenn man die zu prüfenden Dünſte entweder durch Verminderung ihrer Temperatur, oder dadurch und zugleich durch Zugabe neuer Dünſte auf das Maximum ihrer Spannkraft bringt. Dieſer Mittel bedienten ſich zum hygometriſchen Behufe Dalton, Leslie und andere. Dalton nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Maſſe, welche das Glas und mittelſt deſſen auch die dasſelbe umgebende Luft ſo weit abzukühlen vermochte, daß ſich ein feiner Thau an den Wänden abzuſetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunct eingetreten, oder eigentlich ſchon ein wenig überſchritten ſey. Als erkältende Maſſe diente im Sommer kaltes Waſſer, im Winter eine eigene Miſchung. Während der Erkaltung wurde die Temperatur des Glaſes beobachtet und diejenige beſonders bemerkt, bei welcher das Beſchlagen der Wände eintrat. Wurde nun aus der Tafel der Expanſivkräfte die dieſer Temperatur entſprechende Spannkraft des Waſſerdunſtes genommen; ſo gab dieſe Größe die geſuchte Expanſivkraft an. Indeß geſtattet auch dieſes Verfahren keine große Genauigkeit. Darum hat man die Erkältung durch Verdünſtung einer flüchtigen Subſtanz, gewöhnlich des Schwefeläthers, hervorzubringen geſucht. Die Inſtrumente, bei denen dieſes Verfahren angewendet wird, heißen deshalb auch Schwefelätherhygrometer. Die vorzüglichſten derſelben ſind das Daniell'ſche und das Körner'ſche. Daniell's Hygrometer iſt in Fig. 89 abgebildet. *A* iſt eine gläſerne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelſt der Röhre *B* mit einer zweiten ähnlichen Kugel *C* verbunden iſt, welche von Außen mit feinem Muſſelin umwickelt worden. Beide Kugeln ſammt der Röhre *B* ſind luftleer und enthalten nur Äther. Wird durch die Wärme der Hand aller Äther in die Kugel *A* getrieben, und hierauf *C* von Außen mit Äther befeuchtet, ſo verurſacht die durch das Verdünſten entſtandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Ätherdunſtes, mithin eine neue Verdünſtung in *A* und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald *A* ſo weit erkältet iſt, daß ſich an der Kugel rings um die Oberfläche des Äthers ein ſchmaler Thau-

ring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für ſeine Anzeige in Dalton's Tafel die Expanſivkraft des Dunſtes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblaſen durch den Äther leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Körner's Hygrometer beſteht aus einem Thermometer, wovon die Kugel aufwärts gebogen, mit Muſſelin überwickelt und an der unteren Hälfte mit einer vergoldeten, metallenen Schale bedeckt iſt (Fig. 90). Gibt man auf die Muſſelindecke einige Tropfen Schwefeläther; ſo beſchlägt die vergoldete Schale alſobald, und die Queckſilberſäule zeigt den Wärmegrad, bei dem dieſes geſchieht. — Das hygrometriſche Verfahren, wodurch man die Dünſte zugleich durch Erkältung und durch Zuſatz einer neuen Dunſtmenge auf das Maximum der Spannkraft bringt, wird auf folgende Weiſe eingeleitet: Man umwickle die Kugel eines Queckſilberthermometers (Thermohygrometer genannt) mit Muſſelin und betröpfle ſie mit reinem Waſſer. Dieſes verdünſtet ſo lange, bis der Raum in der Nähe der Thermometerkugel mit Dunſt geſättiget iſt, und man bemerkt dabei eine deſto größere Erkältung, mithin ein deſto größeres Sinken des Thermometers, je mehr Dünſte entſtehen müſſen, bis das der obwaltenden Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft erreicht iſt, d. i. je weiter die Spannkraft der urſprünglich vorhandenen Dünſte von ihrem Maximum entfernt iſt; ſobald aber dieſes Maximum erreicht iſt, nimmt das Thermometer einen ſtationären Stand an. Man kann durch Rechnung die fragliche Spannkraft mittelſt einer beſonderen Formel finden, wenn der Unterſchied zwiſchen dem Stande dieſes befeuchteten Thermometers und dem eines gewöhnlichen trockenen, und der Luftdruck gegeben ſind. Dieſe Formel iſt nach Auguſt

$$e = e' - 0{,}00078\, bd$$

wo e die geſuchte Größe, e' die dem hygrometriſchen Thermometerſtande entſprechende größte Spannkraft der Waſſerdünſte, b den Barometerſtand und d die Differenz im Stande des hygrometriſchen und des gewöhnlichen 100theiligen Q. Thermometers bedeutet.

Nach dieſem Grundſatze hat Leslie ein eigenes Hygrometer conſtruirt, das in Fig. 91 abgebildet iſt und aus einer heberförmig gebogenen, an beiden Enden mit Kugeln verſehenen Thermometerröhre beſteht, welche eine gefärbte Flüſſigkeit enthält, während ſich in den beiden Kugeln Luft befindet. Eine dieſer Kugeln iſt mit Floretſeide umwun-

den, wovon einige Fäden in ein Gefäß mit Waſſer reichen und mittelſt Capillarität etwas davon der Kugel zuführen, damit ſie immer feucht erhalten werde. So wie das Waſſer verdünſtet und die in der umwickelten Kugel enthaltene Luft abgekühlt wird, ſteigt in dem daran grenzenden Theile der Röhre die Flüſſigkeit und läßt aus ihrem Stande den Unterſchied in der Temperatur der trockenen und feuchten Kugel erkennen, aus der man wieder durch eine beſondere (von der obigen verſchiedene) Formel die Expanſivkraft der Dünſte kennen lernen kann. Auguſt hat ein gewöhnliches Thermometer auf ähnliche Weiſe zur ſteten Befeuchtung eingerichtet und dieſes Inſtrument Pſychrometer (Naßkältemeſſer) genannt. (Pogg. Ann. 5. 69, 335.)

216. Die Hygrometer der zweiten Klaſſe beruhen auf der Eigenſchaft einiger Körper (ſogenannter hygroſcopiſcher Subſtanzen), Waſſerdünſte zu verdichten, das Waſſer aufzunehmen und dadurch eine merkliche Veränderung im Gewichte oder in ihren Dimenſionen zu erleiden. Solche Körper ſind: Haar, Fiſchbein, Knochen, Federkiele (Chiminello's Hygrometer), Darmſaiten (Lambert's Hygrometer), Blaſen von Ratten, Eichhörnchen (Wilſon's Hygrometer), Grannen von verſchiedenen Samen, z. B. vom Rauhhaber (*avena fatua*), von *Erodium gruinum* und *ciconium*, Holz, Papier, geglühte Pottaſche, ſalzſaurer Kalk, Schwefelſäure, Kobaltoxyd, Thonſchiefer, Glas ꝛc. (Gilb. Ann. 1. 297 und 314; 3. 1; 2. 26. 75 und 367; 5. 79 und 95; 4. 479; 23. 232; 59. 307.) Unter allen dieſen verdienen ausgelaugtes Menſchenhaar und gehörig zubereitetes Fiſchbein den Vorzug. Für erſteres hat ſich Sauſſure, für letzteres de Luc erklärt.

217. Ein Menſchenhaar hat die Eigenſchaft, ſich durch Aufnahme der Feuchtigkeit aus der Luft zu verlängern und nach Abgabe dieſer Feuchtigkeit wieder ſeine vorige Länge anzunehmen. Soll nun ein ſolches Haar zum Behufe eines Hygrometers eingerichtet werden, ſo muß es vom Kopfe eines lebenden, geſunden Menſchen kommen. Die Zubereitung geſchieht durch Kochen in einer ſchwachen Sodalauge, Auswaſchen in reinem Waſſer und Abtrocknen. Ein ſolches Haar wird an einem Ende unbeweglich in eine Zange befeſtigt, am anderen aber am Umfange einer Rolle angebracht, die ſich frei um ihre Axe drehen kann, und ſo angeſpannt, daß es bei der geringſten Verkürzung, die es erleidet, die Rolle merklich dreht. Damit dieſe aber bei der Verlängerung des Haares wieder in ihren vorigen Stand zurückgeführt werde, muß ſie durch ein Ge-

wichtchen nach einer dem Zuge des Haares entgegengeſetzten Richtung bewegt werden. Da die Verlängerung des Haares durch die Feuchtigkeit immer nur ſehr gering iſt, ſo macht man ſie dadurch merklicher, daß man an der Rolle einen langen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen ſpielt und bei der kleinſten Längenänderung des Haares um ein Merkliches auf demſelben weiter rückt. Dieſer Bogen enthält die Hygrometerſcale, deren äußerſte Puncte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entſprechen. Um den Punct der größten Feuchtigkeit zu beſtimmen, wird der Apparat in einen inwendig mit Waſſer befeuchteten und auch mit Waſſer geſperrten Glasrecipienten gebracht und ſo lange darin gelaſſen, bis ſich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Beſtimmung des Punctes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindriſch gebogenes, mit geglühter Pottaſche überzogenes Eiſenblech geſtellt, alles luftdicht geſperrt und es in dieſem Raume ſo lange gelaſſen, bis ſich das Haar ſelbſt dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht. Der Punct der größten Trockenheit wird mit 0, der der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwiſchenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Auf ſolche Weiſe erhält man das Hygrometer, welches Sauſſure's Namen führt und in Fig. 92 abgebildet iſt.

218. Um dieſes Inſtrument beſſer kennen zu lernen, muß man folgende Betrachtung anſtellen: Die Waſſermenge, welche das Haar aus der Luft aufnimmt, hängt von zwei einander entgegenwirkenden Kräften ab, nämlich von der anziehenden Kraft des Haares und von dem Beſtreben der Dünſte, ausdehnſam zu bleiben. Die erſtere Kraft iſt deſto kleiner, je mehr Dünſte bereits aufgenommen ſind, die zweite, je näher die Expanſivkraft der Dünſte ihrem Maximum iſt. Wird daher ein Hygrometer in Luft gebracht, welche Waſſerdünſte vom Maximum der Spannkraft enthält, ſo wird es einen Theil Dünſte aufnehmen; iſt die Luftmaſſe hinlänglich groß, ſo wird dieſer Dunſtverluſt für ſie nicht merklich ſeyn, das Maximum der Expanſivkraft fortdauern, und das Haar wird ſich ganz mit Waſſer ſättigen können. So oft daher ein Haarhygrometer auf den Punct der größten Feuchtigkeit hinweiſet, kann man mittelſt der bekannten Temperatur, bei der dieſes geſchieht, die Expanſivkraft des Dunſtes aus der Tafel 209 entnehmen. Nicht ſo leicht erreicht man dieſen Zweck für geringere Hygrometergrade.

Steht die Spannkraft der Dünſte unter ihrem Maximum, ſo tritt eher ein Gleichgewicht zwiſchen der Anziehung des hygroſkopiſchen Körpers und der Expanſivkraft der Dünſte ein, als jener ſich mit Waſſer geſättiget hat, und das Hygrometer bleibt unter dem Feuchtigkeitspuncte ſtehen. Da iſt aber der Hygrometergrad nicht zugleich der Feuchtigkeitsgrad, und man kann auf theoretiſchem Wege durchaus nicht aus einem den anderen beſtimmen, ſondern muß zu dieſem Behufe beſondere Verſuche anſtellen. Solche ſind bereits von mehreren angeſtellt worden, worunter Gay-Luſſac und Melloni beſonders genannt werden müſſen. Gay-Luſſac ging von dem Satze aus, daß Waſſerdünſte, die aus wäſſerigen Salzauflöſungen ſich bilden, eine geringere Spannkraft haben, als die aus reinem Waſſer entſtandenen, er erzeugte mehrere ſolche Salzlöſungen und beſtimmte die Spannkraft der daraus entwickelten Dünſte bei beſtimmten Temperaturen, brachte hierauf ein Haarhygrometer in einen Recipienten, der mit einer ſolchen Salzlöſung geſperrt war, und beobachtete ſeinen Stand, wenn er ſtationär geworden war. Wiewohl da die Dünſte die für die obwaltenden Umſtände größte Spannung erreichten, ſo blieb doch das Hygrometer unter 100 ſtehen, weil dieſe Dünſte eine geringere Spannkraft hatten, als die aus reinem Waſſer entſtandenen. Betrug z. B. die Spannkraft jener $\frac{90}{100}$ von der Spannkraft dieſer, ſo war der Feuchtigkeitsgrad der Luft = 90; zeigte das Hygrometer nur 79°, ſo war man gewiß, daß 79 Hygrometergrade 90 Feuchtigkeitsgraden entſprechen. Noch einfacher und ſicherer iſt Melloni's Verfahren. Dieſer Gelehrte brachte das Haarhygrometer in einen Glasrecipienten, der Waſſerdünſte vom Maximum der Spannkraft enthielt und durch eine ziemlich hohe Queckſilberſäule geſperrt war. Da mußte das Hygrometer 100° zeigen. Wurde nun der Recipient um eine beſtimmte Größe gehoben, ſo erweiterte ſich der von den Dünſten eingenommene Raum um eine beſtimmte Größe, die Dünſte nahmen in einem beſtimmten Verhältniſſe an Dichte und Spannkraft ab, und man konnte leicht aus dem vorigen Maximum und der ſtattgefundenen Verdünnung die Expanſivkraft derſelben berechnen, zugleich aber auch den Hygrometerſtand beobachten und ſo den Zuſammenhang dieſer beiden Größen erkennen. Die folgende Tafel enthält einige Reſultate beider Gelehrten:

Hygrometergrad.	Feuchtigkeitsgrad.		Hygrometergrad.	Feuchtigkeitsgrad.	
	Gay-Luſſac.	Melloni.		Gay-Luſſac.	Melloni.
0	0	0			
10	4.6	5.0	60	36.3	44.0
20	9.5	11.7	70	47.2	55.6
30	14.8	19.0	80	61.2	68.9
40	20.8	26.0	90	79.1	83.1
50	27.8	34.6	100	100	100

Man ſieht, daß die Übereinſtimmung der beiderſeitigen Reſultate nicht groß iſt; wahrſcheinlich befolgt jedes Haar hierin ein anderes Geſetz, ſo daß ſchon von dieſer Seite ein Haarhygrometer ein ſehr ſchwer zu adjuſtirendes Inſtrument iſt, vielleicht kommen die Differenzen auch daher, daß es ſehr ſchwer hält, zwei ſolche Inſtrumente in ihren unmittelbaren Anzeigen völlig übereinſtimmend zu machen. Aber ſelbſt abgeſehen von dieſer Schwierigkeit, ſo ſinkt der Werth dieſes Inſtrumentes ſehr, wenn man ſieht, wie nach und nach das Haar ſeine Empfindlichkeit verliert. Es ſtirbt, wie jede organiſche Subſtanz, mit der Zeit ab, wird für Dünſte immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpuncte der Scale rücken einander näher und fallen zuletzt zuſammen. Wenn man auch die Haare einer tauſendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometriſchen Gebrauche geeignet gefunden hat; ſo darf man doch nicht behaupten, daß dieſes für ausgelaugte und geſpannte Haare ein günſtiges Zeugniß gebe.

219. Nebſt den angeführten Hygrometern hat auch noch das Deluc'ſche einen wiſſenſchaftlichen Werth. Es iſt dem Sauſſure'ſchen im Baue ähnlich, nur iſt es kleiner und hat ſtatt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Faſern geſchnittenen Fiſchbeines. Der Punct der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer beſtimmt, der Punct der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einſenken des ganzen Fiſchbeines in Waſſer. Die Scale wird wie in Sauſſure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet. Ein Fiſchbeinhygrometer kann mit einem Haarhygrometer nicht übereinſtimmen, man hat aber doch beide mit einander verglichen und hieraus den jedem Grade entſprechenden Feuchtigkeitszuſtand beſtimmen gelernt. Es wird auf dem Continente wenig gebraucht.

Über Hygrometer ſiehe: Lambert's Hygrometrie, Augsb. 1774. Sauſſure's Hygrometrie; aus dem Franzöſiſchen. Leipzig, 1784. Vollſtändig handelt darüber der Supplementband S. 244 — 284.

Dritter Abſchnitt.

Bewegung der Körper (Dynamik).

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere.

220. Jede Veränderung des Ortes heißt Bewegung, das Verharren in demſelben Ruhe. Da jeder Ort ein abſoluter oder relativer iſt, je nachdem er auf den abſoluten unbegrenzten Raum, oder auf einen begrenzten Theil desſelben bezogen wird; ſo kann auch jede Bewegung als abſolute und relative betrachtet werden. Erſtere iſt für uns gar nicht erkennbar; letztere erkennen wir aber aus der Veränderung der Lage gegen ein Syſtem von Körpern, das wir für ruhend annehmen. Weil ein Körper nicht zu derſelben Zeit in zwei verſchiedenen Orten ſeyn kann; ſo muß er zur Bewegung eine gewiſſe Zeit brauchen, und weil er nicht von einem Orte an einen anderen gelangen kann, ohne alle dazwiſchen liegenden Puncte ſtetig zu durchlaufen; ſo muß er einen beſtimmten Weg zurücklegen. Je nachdem der Weg gerad oder krumm iſt, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Die krummlinige Bewegung, bei der ſich ein Körper um eine Axe dreht, heißt drehend, jede andere fortſchreitend.

221. Die Eigenſchaft der Bewegung, vermög welcher ein Körper in einer gewiſſen Zeit einen gewiſſen Raum zurücklegt, heißt Geſchwindigkeit. Haben alle Theile eines Körpers dieſelbe Geſchwindigkeit, ſo braucht man nur die eines einzigen Theiles zu betrachten, um die Bewegung des ganzen Körpers kennen zu lernen. Bleibt bei einer Bewegung die Geſchwindigkeit ſtets dieſelbe, ſo heißt ſie gleichförmig, wo nicht, ungleichförmig. Im letzteren Falle kann ſie eine beſchleunigte oder verzögerte ſeyn, je nachdem die Geſchwindigkeit zu- oder abnimmt.

222. Es gibt in der Natur zweierlei Kräfte, die ſich durch ihre Wirkſamkeit weſentlich von einander unterſcheiden, nämlich ſolche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz ſich ſelbſt überlaſſen, und andere, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert. Dieſe letzteren Kräfte ſind wieder von zweifacher Art; einige wirken nämlich immer mit derſelben Stärke und heißen beſtändige Kräfte; andere haben aber bald eine größere, bald eine geringere Intenſität und werden veränderliche Kräfte genannt.

A. Bewegung, welche durch momentan wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

223. Eine momentan wirkende Kraft erzeugt immer eine geradlinige und gleichförmige Bewegung, weil das Bewegliche wegen ſeiner Trägheit weder ſeine Richtung, noch ſeine Geſchwindigkeit, die es durch die momentane Einwirkung der Kraft erhalten hat, ſelbſtthätig ändern kann. Drückt man bei dieſer Bewegung den Raum nach einer beſtimmten Einheit durch eine abſtracte Zahl aus, und eben ſo die Zeit, in welcher dieſer Raum zurückgelegt wird, nach irgend einer Einheit; ſo laſſen ſich dieſe zwei Größen mit einander vergleichen. Ihr Verhältniß zu einander iſt die Geſchwindigkeit. Die Einheit der Geſchwindigkeit iſt diejenige, vermög welcher ein Bewegliches den Raum $= 1$, in der Zeit $= 1$, zurücklegt. Iſt daher der Raum $= s$, die Zeit $= t$, die Geſchwindigkeit $= c$, ſo hat man für die gleichförmige Bewegung: $c = \frac{s}{t}$, mithin $s = ct$ und $t = \frac{s}{c}$. Setzt man, in $c = \frac{s}{t}$ die Größe $t = 1$, ſo erhält man $c = s$, d. h. es iſt bei dieſer Bewegung die Geſchwindigkeit der Raum, welcher in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird.

224. Da wir die Kräfte in dynamiſcher Hinſicht nur aus dem Wege kennen, den ein Bewegliches durch ihre Wirkſamkeit in einer gewiſſen Zeit zurücklegt; ſo iſt es natürlich, daß man ſie auch nach der Größe dieſes Weges ſchätzt, und darnach unter ei'ander vergleicht. Dazu wird aber erfordert, daß man weiß, in welchem Verhältniſſe dieſe Wege zu den Kräften ſtehen, deren Größe nach ihrer ſtatiſchen Wirkung (80) angenommen wird. Dieſes kann nur aus der Erfahrung erkannt werden, weil es uns an einer Einſicht

in die innere Natur der Kräfte gänzlich mangelt. Zu dieſem Behufe lehrt die Erfahrung, daß die relativen Bewegungen eines Syſtems von Körpern, die durch was immer für Kräfte hervorgebracht werden, von der gemeinſchaftlichen Bewegung des ganzen Syſtems ganz unabhängig ſind. So weiß man z. B. daß ſich die Erde mit allen zu ihr gehörigen Körpern um ihre Axe und um die Sonne bewegt, und daß irgend eine Kraft dieſelbe Bewegung an einem Körper hervorbringt, ſie mag mit der Richtung der Bewegung der Erde was immer für einen Winkel machen. Auf einem bewegten Schiffe lauft eine Kugel genau ſo wie auf einem ruhenden, wenn ſie in beiden Fällen von derſelben Kraft getrieben wird und alles übrige gleich iſt. Aus dieſem folgt, daß die Kräfte den durch ſie erzeugten Geſchwindigkeiten proportionirt ſind. Denn werden zwei gleiche Maſſen M von den Kräften P und Q bewegt, wovon $Q = nP$ iſt; ſo kann man ſich Q in n Kräfte zerlegt denken, deren jede die Größe P hat und die nicht auf einmal, ſondern nach einander wirken. Ertheilt P der Maſſe M die Geſchwindigkeit c, ſo muß ſie auch die Geſchwindigkeit der ſchon bewegten um die Größe c vermehren. Daher hat die Maſſe, wenn zwei Kräfte P auf dieſelbe gewirkt haben, die Geſchwindigkeit $2c$, wenn deren drei gewirkt haben, $3c$, und wenn n ihre Wirkung geäußert haben, $nc = C$. Man hat daher

$$P : Q = 1 : n$$
$$c : C = 1 : n, \text{ mithin}$$
$$\overline{P : Q = c : C}$$

Es iſt leicht, dieſen Beweis auf incommenſurable Kräfte auszudehnen. Dieſer Satz gilt aber nur für gleiche Maſſen. Kräfte, welche auf ungleiche Maſſen wirken, müſſen nothwendig in einem anderen Verhältniſſe ſtehen. Geſetzt es bewege eine Kraft P, deren Wirkung nur einen Augenblick dauert, die Maſſe M ſo, daß alle Theile derſelben eine gleiche Geſchwindigkeit $= C$ und parallele Richtungen haben, eine andere Kraft p von derſelben Natur wie P bewege eben ſo die Maſſe m mit der Geſchwindigkeit c; ſo denke man ſich M in ſo viele gleiche Theile getheilt, als es Einheiten enthält, und P in eben ſo viele parallele Kräfte zerlegt. Jede dieſer Kräfte wird $\frac{P}{M}$ ſeyn. Theilt man im Gedanken m in eben ſo große Theile, wie dieſes mit M geſchehen iſt, und zerlegt p wieder in ſo viele gleiche und parallele Kräfte, als m Theile gibt; ſo

iſt wieder jede dieſer Kräfte $= \frac{p}{m}$, und man hat:

$$\frac{P}{M} : \frac{p}{m} = C : c \text{ oder } P : p = CM : cm.$$

Für $P = p$ wird $CM = cm$ und $M : m = c : C$. Dieſes Product aus der Maſſe in ihre Geſchwindigkeit nennt man die Größe der Bewegung (eigentlich Größe der bewegenden Kraft). Es iſt zugleich das Maß der Kraft P, die man bewegende Kraft nennt, zum Unterſchiede von der Kraft $\frac{P}{M}$, welche auf die Maſſe $= 1$ wirkt und beſchleunigende Kraft heißt. Denn ſetzt man in obiger Proportion $p = 1$, $c = 1$, $m = 1$, d. h. nimmt man diejenige Kraft als Einheit an, welche der Maſſe $= 1$ die Geſchwindigkeit $= 1$ ertheilt, ſo iſt:

$$P : 1 = CM : 1, \text{ und } P = CM.$$

225. Die Proportionalität der Kräfte und der durch ſie erzeugten Geſchwindigkeiten berechtiget uns auch, Bewegungen ſo zuſammenzuſetzen und zu zerlegen, wie dieſes mit Kräften geſtattet iſt. Haben z. B. die Kräfte P und Q (Fig. 93) einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct A und die Richtungen Ax und Ay, ſind ferner die von ihnen erzeugten Geſchwindigkeiten $C = AB$ und $c = AC$; ſo iſt die Diagonale AD des Parallelogramms der Geſchwindigkeiten $ABDC$ die Geſchwindigkeit der Reſultirenden R. Denn nennt man dieſe Geſchwindigkeit x, ſo iſt:

$$P : R = C : x$$
$$P : R = AB : AD, \text{ daher auch}$$
$$C : x = AB : AD, \text{ und weil } C = AB,\ x = AD.$$

226. Wenn der Winkel xAy ſpitzig iſt, ſo läßt ſich AC in AE und AF zerlegen, wovon erſtere in die Richtung von Ax fällt, letztere aber auf ihr ſenkrecht ſteht. Man kann ſich alſo vorſtellen, als würde durch die Kraft Q die Geſchwindigkeit des Punctes A nach der Richtung Ax um die Größe AE vermehrt. Iſt xAy ſtumpf (Fig. 94), ſo zeigt eine ähnliche Zerlegung der AC in AF und AE, daß die Geſchwindigkeit des Punctes A nach der Richtung Ax um AF vermindert wird. Nur bei Bewegungen, deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, iſt eine ſolche Zerlegung unmöglich, und man begreift daraus, daß ſolche Bewegungen auf einander keinen Einfluß haben.

B. Bewegung, welche durch continuirlich wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

227. Eine ununterbrochen wirkſame Kraft bringt eine beſchleunigte Bewegung hervor. Nach dem Geſetze, an welches dieſe Kraft gebunden iſt, richtet ſich die Beſchaffenheit der Beſchleunigung, mithin die Natur der Bewegung. Hier kann nur diejenige Bewegung ausführlich betrachtet werden, welche durch eine beſtändige beſchleunigende Kraft hervorgebracht wird. Um in die Bewegung, welche eine ſolche Kraft hervorbringt, eine deutliche Einſicht zu bekommen, denke man ſich die Zeit der Bewegung t in n gleiche Theile von der Dauer $\frac{t}{n}$ getheilt, und ſtelle ſich vor, als wirke die beſchleunigende Kraft nur im Anfange eines jeden ſolchen Zeittheilchens, aber immer mit derſelben Stärke. Man ſieht leicht ein, daß die Bewegung während der Dauer von $\frac{t}{n}$ gleichförmig ſeyn wird, daß aber die Geſchwindigkeit in den auf einander folgenden Zeittheilchen ſtets zunehmen muß. Heißt die im erſten Zeittheilchen erlangte Geſchwindigkeit γ, ſo iſt die im zweiten Zeittheilchen 2γ, im dritten 3γ, im $n$ten $n\gamma = c$. Je kleiner $\frac{t}{n}$ oder je größer n iſt, deſto ſchneller folgen die beſchleunigenden Wirkungen der Kraft auf einander und deſto mehr nähert ſich die Kraft einer ununterbrochen wirkenden. Die Grenze, welcher ſich n ohne Ende nähert, iſt $n = \infty$, diejenige, welcher die Kraft immer näher kommt, iſt eine ununterbrochene Wirkſamkeit, daher wirkt für $n = \infty$ die Kraft ohne Unterbrechung. In dieſem Falle ſind aber die Geſchwindigkeiten den Zeiten, in denen ſie erlangt wurden, proportionirt. Da eine Bewegung, deren Geſchwindigkeit im geraden Verhältniſſe mit der Zeit wächſt, eine **gleichförmig beſchleunigte** heißt; ſo iſt klar, daß durch eine **beſtändige, ununterbrochen wirkſame Kraft** eine **gleichförmig beſchleunigte** Bewegung hervorgebracht wird. Man darf aber nie vergeſſen, daß das, was hier die Geſchwindigkeit vorſtellt, von dem, was ſie bei der gleichförmigen Bewegung angab, verſchieden ſey. Denn dort war es der Raum, der wirklich in einer Zeiteinheit zurückgelegt wurde, hier iſt es derjenige, welcher in einer Zeiteinheit zurückgelegt würde, wenn von einem Augenblicke an die Kraft zu wir-

ken aufhörte und ſich das Bewegliche blos vermöge ſeiner Trägheit fort bewegte.

228. Um die Geſetze der gleichförmig beſchleunigten Bewegung zu entwickeln, bediene man ſich derſelben Vorſtellung wie vorher. Iſt dieſer gemäß s der in der Zeit t zurückgelegte Raum, γ die im erſten Zeittheilchen $\frac{t}{n} = \tau$ erlangte Geſchwindigkeit; ſo iſt der Raum, welcher im erſten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$

„ „ „ zweiten „ „ „ $= 2\gamma\tau$

„ „ „ dritten „ „ „ $= 3\gamma\tau$

„ „ „ $n$ten „ „ „ $= n\gamma\tau$

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ꝛc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1+2+3+\ldots.n)$

$$= (1+n)\frac{n}{2}.\gamma\tau = \frac{n\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2n} + \frac{n^2\gamma\tau}{2}$$

Aber $n\gamma$ iſt gleich der Endgeſchwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin $s = \frac{ct}{2n} + \frac{ct}{2}$. In dieſem Ausdrucke iſt das zweite Glied von n unabhängig, das erſte wird deſto kleiner, je größer n, d. i. je ſchneller die Wirkungen der beſchleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert ſich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demſelben Maße, in welchem ſich die beſchleunigende Kraft einer ununterbrochen wirkſamen, oder in welchem ſich die Bewegung einer gleichförmig beſchleunigten nähert. Für die beiderſeitige Grenze der Annäherung iſt daher

$$s = \frac{ct}{2} \quad (1),$$

wo s den Raum vorſtellt, welcher in der Zeit t mit der Endgeſchwindigkeit c zurückgelegt wird.

Heißt g die in der erſten Secunde erlangte Geſchwindigkeit; ſo iſt $g:c = 1:t$, und

$$c = gt \quad (2)$$

aus 1 und 2 $s = \frac{gt^2}{2}$ (3)

aus 3 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ (4)

aus 2 und 4 $c = \sqrt{2gs}$ (5)

g iſt das Maß der beſchleunigenden Kraft oder der doppelte Raum, welcher in der erſten Secunde zurückgelegt wird, wie man aus 3 erſieht, wenn man $t = 1$ ſetzt.

Aus dieſen Formeln erkennt man, daß bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung 1) die Räume ſich verhalten wie die Quadrate der Zeiten, oder 2) daß die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Räume wie die ungeraden Zahlen wachſen. Heißt nämlich s' für die Zeit $(t-1)$, was s für ts bedeutet, ſo iſt

$$s-s'=\frac{g}{2}(2t-1).$$

Da eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung, rückwärts betrachtet, als gleichförmig verzögerte erſcheint, d. i. als eine ſolche, bei welcher die Geſchwindigkeit in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Zeit wächſt; ſo ſind in den hier entwickelten Formeln auch die Geſetze dieſer Bewegung enthalten.

229. Aus dem, was früher über die Schwere geſagt wurde, kann man abnehmen, daß ſchwere Körper im freien Falle von Höhen, die gegen den Halbmeſſer der Erde verſchwinden, eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung haben müſſen, vorausgeſetzt, daß die Schwere auf bewegte Körper ſo wirket, wie auf ruhende. Die Erfahrung lehrt auch wirklich, daß die im freien Falle unter den angegebenen Umſtänden zurückgelegten Räume den Quadraten der Zeiten proportionirt ſind, mithin daß die Bewegung eine gleichförmig beſchleunigte iſt. Dieſe Erfahrung läßt ſich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerſtandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen, aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'ſchen Fallmaſchine bekannt iſt, mittelſt welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Reſultaten der Verſuche, die ſich mit ihr anſtellen laſſen, doch auf die Geſetze beim freien Fall ſchließen kann. Dieſe Vorrichtung beſteht in ihrer einfachſten Geſtalt aus einer fixen Rolle a (Fig. 95), über deren Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme beſtimmter Gewichte hat. Die Rolle iſt an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befeſtiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, meſſen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann.

Iſt M das Gewicht der Rolle, der Schnur und der Schalen, P das Gewicht, welches auf eine der beiden Schalen, $P+p$ dasjenige, welches auf die andere gelegt wird, ferner die Beſchleunigung der

Schwere im freien Falle g, in der Atwood'ſchen Fallmaſchine g': ſo hat man

$$(M+2P+p)\,g'=pg$$

das iſt $(M+2P)\,g'=(g-g')\,p$ und daher $p=\frac{(M+2P)g'}{g-g'}$

Wollte man, daß eine Schale in der erſten Secunde 1 Zoll zurücklege, mithin die Geſchwindigkeit 2 Zoll erlange, ſo hätte man $g'=2$ und $p=\frac{M+2P}{185}$, wenn $g=31$ F. $=372$ Z. geſetzt wird. Wegen der drehenden Bewegung der Rolle iſt die Rechnung nur beinahe richtig; eigentlich ſollte man nur ihre halbe Maſſe in Rechnung bringen.

230. Wenn man in den Formeln 228 für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung ſtatt g den Werth der Schwere ſetzt; ſo gelten ſie für den freien Fall und können daher zur Auflöſung aller dahin gehörigen Aufgaben gebraucht werden. Man muß aber hierbei nie vergeſſen, daß g für Örter von verſchiedener Breite auch einen verſchiedenen Werth hat. Die Erfahrung lehrt, daß, wenn die Beſchleunigung der Schwere in einer Breite von 45° gleich g, in einer Breite φ aber gleich g' iſt, die Gleichung Statt findet:

$$g'=g\,(1-0{,}001837\,\cos 2\varphi).$$

Für Wien beträgt der Werth von $g=31{,}03018$ Fuß.

231. Betrachtet man einen ſchweren Körper auf einer ſchiefen Ebene, ſo findet man, daß er auch durch eine beſtändige und continuirlich wirkende Kraft abwärts getrieben wird und daher eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung annehmen muß, wenn von allen Hinderniſſen der Bewegung abgeſehen wird und die Höhe der ſchiefen Ebene nicht gar zu groß iſt. Stellt z. B. ABC (Fig. 96) den Durchſchnitt einer ſchiefen Ebene mit einer auf ihr ſenkrecht ſtehenden, verticalen Ebene vor, iſt AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Baſis, $ACB=a$ ihr Erhöhungswinkel, und endlich G der Schwerpunct eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe $=g$; ſo kann man GD in die auf AC ſenkrechte GE und in die mit ihr parallele ED zerlegen, wovon erſtere durch den Widerſtand der ſchiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derſelben hervorbringt und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und GE auf AC ſenkrecht ſteht; ſo iſt $EGD=ACB=a$ und daher

$ED = GD \sin a = g . \sin a$, alſo eine Kraft, die für einerlei Werth von a beſtändig iſt, wenn g unverändert bleibt.

Mittelſt der ſchiefen Ebene hat Galiläi zuerſt die Geſetze des Falls ſchwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

232. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung ſtatt g, $g . \sin a$, und verſteht unter g den doppelten Fallraum in der erſten Secunde beim freien Falle; ſo gelten die ſo entſtehenden Formeln für den Fall über eine ſchiefe Ebene. Man hat deshalb, wenn s', t', c' daſſelbe für die ſchiefe Ebene ſind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten.

$$c' = gt' . \sin a \quad 1)$$

$$s' = \frac{gt'^2 . \sin a}{2} \quad 2)$$

$$t' = \sqrt{\frac{2s'}{g . \sin a}} \quad 3)$$

$$c' = \sqrt{2gs' . \sin a} . \quad 4)$$

233. Wenn ein Körper auf der ſchiefen Ebene (Fig. 97) bis D gekommen iſt, und die Frage entſteht, wie weit er in derſelben Zeit im freien Falle gekommen wäre; ſo errichte man im Puncte D auf AC die ſenkrechte DE, und man hat AE als den in Frage ſtehenden Fallraum. Denn ſetzt man $ACB = a$ und nennt x den geſuchten Raum; ſo wird

$AD = \frac{gt^2}{2} . \sin a$ und $x = \frac{gt^2}{2}$, mithin $AD = x . \sin . a$ oder $\frac{AD}{\sin . a} = x$. Aber wegen $EAD = BAC$ und $ADE = ABC$ iſt auch $AED = a$, und daher $\frac{AD}{\sin a} = AE$, mithin $x = AE$.

234. Wendet man dieſen Satz auf den verticalen Durchmeſſer AB (Fig. 98) eines Kreiſes und deſſen Sehnen AC oder BC an; ſo findet man, daß AB, AC und CB gleichzeitige Räume ſind. Daß dieſes von AB und AC gilt, zeigt ſchon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für AB und CB einzuſehen, ziehe man BD ſenkrecht auf CB, CD vertical, und es ſind CB und CD gleichzeitige Räume. Da aber $CD = AB$, ſo müſſen auch AB und CB gleichzeitige Räume ſeyn. Es iſt klar, daß alle von A und B aus gezogene Sehnen unter einander gleichzeitig ſeyn werden, weil

jede einzelne mit AB gleichzeitig iſt. Da durch Drehung des Kreiſes um ſeinen verticalen Durchmeſſer eine Kugel beſchrieben wird; ſo ſieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchſten Puncte einer Kugel ausgehen oder im tiefſten Puncte derſelben zuſammentreffen, gleichzeitige Räume ſind.

235. Ein Körper erlangt dieſelbe Geſchwindigkeit, er mag die Länge AC (Fig. 97) einer ſchiefen Ebene, oder ihre Höhe AB zurückgelegt haben; denn es iſt:

$$c = \sqrt{2g.AB}$$
$$c' = \sqrt{2g.AC.\sin a.}$$

aber $AC.\sin a = AB$, mithin auch $c = c'$. Eine nothwendige Folge dieſes Satzes iſt, daß ein Körper beim Fall durch zwei ſchiefe Ebenen von verſchiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch AB und AC (Fig. 99) eine gleiche Geſchwindigkeit erlangen wird.

236. Sind AB und BC (Fig. 100) zwei ſchiefe Ebenen, die unter dem Winkel ABC zuſammenſtoßen; ſo erlangt ein Körper, der ſich von A bis C darauf bewegt, dieſelbe Geſchwindigkeit, als wenn er ſich auf der geraden AE bewegt hätte, vorausgeſetzt, daß er in B keinen Verluſt an Geſchwindigkeit erleidet. Denn weil er dieſelbe Geſchwindigkeit erlangt, er mag ſich von B aus über BC oder über BE bewegt haben; ſo muß auch der Zuwachs an Geſchwindigkeit durch BC und BE derſelbe ſeyn, wenn er in B mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit anlangt, und deshalb im Falle über ABE und über ABC dieſelbe Geſchwindigkeit bekommen. Der Körper erleidet aber in B einen Verluſt an Geſchwindigkeit, denn er ſucht mit der Geſchwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach BE fortzugehen. Heißt dieſe Geſchwindigkeit $c = BE$, ſo zerlege man ſie in die auf BC ſenkrechte EF und in die mit ihr parallele BF, und man ſieht leicht ein, daß nur mit letzterer der Körper über BC hinabgleitet. Es iſt aber $BF = BE.\cos EBF = c.\cos b$, wenn $EBF = b$ iſt, und daher der Verluſt an Geſchwindigkeit:

$$BE - BF = c. - c.\cos b = c\,(1 - \cos b).$$

Wäre ABC eine continuirlich krumme Linie, ſo hätte man b unendlich klein, mithin $\cos b = 1$, daher auch der Verluſt der Geſchwindigkeit $= o$.

237. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo ſich ein Körper auf einer Unterlage von beſtimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeſchrieben iſt, den er zu nehmen hat. Aber die

Geſeze der Bewegung, die ein Körper in dieſen Fällen befolgen muß, gelten auch, wenn man ihn auf eine andere Weiſe, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß an einen ſolchen Weg bindet. So muß ſich ein Körper, der ſich um eine Axe drehen kann, die nicht durch ſeinen Schwerpunct geht, nach denſelben Geſetzen bewegen, als wenn er ſich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein ſolcher Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunct gehende Axe bewegt werden kann, heißt ein **Pendel** und zwar ein **phyſiſches** oder **zuſammengeſetztes**. Denkt man ſich einen ſchweren Punct B (Fig. 101) an einer nicht ſchweren und nicht trägen geraden Linie AB, die um A gedreht werden kann; ſo hat man einen Begriff von einem **mathematiſchen** oder **einfachen** Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, deſſen Länge den Durchmeſſer der Kugel wenigſtens ſechsmal übertrifft, ohne bedeutenden Fehler in der Ausübung für ein einfaches Pendel anſehen.

238. Wird das einfache Pendel AB aus ſeiner verticalen Lage AB nach AC gebracht, und da ſich ſelbſt überlaſſen; ſo wird es durch die Schwere nach B hingetrieben, und beſchreibt den mit AB in derſelben verticalen Ebene liegenden Bogen CB. Um die Kraft zu finden, mit der dieſes geſchieht, ſey Cx die Richtung der Schwerkraft, $CE = g$ ihre Beſchleunigung, a der Erhöhungs- oder Elongationswinkel CAB, und man zerlege CE in die auf AC ſenkrechte CF, und die mit ihr parallele CD; ſo wird letztere durch den Widerſtand der Linie CA aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE . \sin CEF = g . \sin a$, weil $CEF = CAB = a$ iſt. Da dieſe Kraft für einerlei Werth von g vom $\sin a$ abhängt, der immer kleiner wird, ſo wie ſich das Pendel der verticalen AB nähert; ſo muß die Bewegung von C bis B eine **ungleichförmig beſchleunigte**, d. i. eine ſolche ſeyn, bei welcher die Geſchwindigkeiten in einem anderen Verhältniſſe wachſen als die Zeiten. In B hat das Pendel die größte Geſchwindigkeit, es muß ſich daher vermög der Trägheit weiter bewegen und zwar wegen des Widerſtandes der Linie AB im Bogen BH, und wegen ungleichförmiger Gegenwirkung der Schwere mit **ungleichförmig verzögerter** Bewegung. Offenbar wird BH gleich CB ſeyn müſſen. In H tritt wieder derſelbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel ſteigt nach BH herab, erhebt ſich wieder nach C, und wür-

de ſo ſeine Schwingungen ohne Unterlaß fortſetzen, wenn keine Hinderniſſe dieſe Bewegung ſtörten.

239. Die aus dem Ausdrucke der beſchleunigenden Kraft des Pendels abgeleitete Bewegung desſelben läßt ſich noch mehr aus der Formel einſehen, welche ſeine Geſchwindigkeit in jedem Puncte ſeiner Bahn angibt. Es ſey das einfache Pendel AB (Fig. 102) um den Winkel $CAB = a$ von ſeiner verticalen Lage entfernt worden und bereits bis D gekommen, ſo daß $DAB = b$ iſt. Die Bewegung des Pendels iſt ſo beſchaffen, als wenn ſich ein Körper in einer kreisförmigen Rinne CD bewegt hätte, weil offenbar der Widerſtand der Stange AB dasſelbe leiſtet, wie der Widerſtand der Rinne. Nach 236 findet da kein Verluſt an Geſchwindigkeit Statt, und daher erlangt auch das Pendel im Falle durch CD dieſelbe Geſchwindigkeit, als wenn es frei den verticalen Weg EF zurückgelegt hätte, welchen man findet, wenn man CE und DF ſenkrecht auf AB zieht. Es iſt alſo für die Geſchwindigkeit c in D

$$c = \sqrt{2g.\ EF},$$

oder weil $EF = AF - AE$ und $AF = \cos b$, $AE = \cos a$ iſt

$$c = \sqrt{2g\ (\cos b - \cos a)}.$$

Es iſt daher c deſto größer, je kleiner b iſt, deshalb iſt die Bewegung beſchleunigt, und weil c nicht in demſelben Verhältniſſe wächſt, wie b abnimmt, ungleichförmig beſchleunigt. Iſt das Pendel in der Lage AB; ſo iſt $b = o$, mithin $c = \sqrt{2g\ (1 - \cos a)}$. Für $+ b$ und $- b$ hat c einerlei Werth, mithin wird die Bewegung im Aufſteigen nach denſelben Geſetzen verzögert, wie ſie im Fallen beſchleuniget wurde; es kann aber b nicht größer werden als a, weil da $\cos b - \cos a$ negativ und daher c eine unmögliche Größe würde.

240. Das Wichtigſte bei einem Pendel iſt für den Phyſiker die Zeit, in welcher es den Weg CH (Fig. 101) einmal zurücklegt, oder die Zeit einer Schwingung. Heißt man dieſe Zeit t, die Länge des Pendels l, das Kreisverhältniß π; ſo lehrt die höhere Analyſis für einen Ausſchlagwinkel, der nicht über 10 Grad beträgt:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Für einen größeren Ausſchlagwinkel a, oder wo eine gar große Genauigkeit verlangt wird, muß man ſetzen

$$t = \pi \sqrt{\left(\left(1 + \frac{a^2}{16}\right)\frac{l}{g}\right)}.$$

Haben für ein anderes Pendel T, L, G denſelben Werth, wie im jetzt betrachteten t, l, g; ſo iſt

$$T=\pi\sqrt{\frac{L}{G}},$$

und

$$T:t=\sqrt{\frac{L}{G}}:\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Die Formel $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt eigentlich nur für die Radlinie, bei welcher l der Durchmeſſer des Erzeugungskreiſes heißt und t iſt in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausſchlagwinkels, weil dieſe Linie die merkwürdige Eigenſchaft hat, daß kleine und große Bögen in derſelben Zeit zurückgelegt werden.

241. Heißt n die Anzahl der Schwingungen, welche ein Pendel von der Länge l in einer Zeit T' macht, N dasſelbe für ein Pendel von der Länge L; ſo iſt, wenn T, L, G und g ihre vorigen Bedeutungen beibehalten, $T'=NT$ und $T'=nt$, mithin

$$NT = nt \text{ oder } n:N = T:t,$$

das iſt

$$n:N=\sqrt{\frac{L}{G}}:\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2:N^2=\frac{L}{G}:\frac{l}{g}$$

Für $l=L$ wird $n^2:N^2=g:G$

für $G=g$, $n^2:N^2=L:l$

Hat man ein Pendel von der Länge L, das in einer Secunde N Schwingungen macht; ſo findet man die Länge des Secundenpendels l aus

$$N^2:1=l:L, \text{ d. i. } l=N^2L.$$

Dieſe Geſetze der Pendelſchwingungen ſind wieder ein Geiſtesproduct des berühmten Galiläi. Schon in ſeinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dom zu Piſa darauf aufmerkſam.

242. Wiewohl dieſe Geſetze blos für ein einfaches Pendel entwickelt ſind, ſo laſſen ſie ſich doch auch auf ein zuſammengeſetztes anwenden, welches um eine horizontale Axe ſchwingt. Denn ein ſolches zuſammengeſetztes Pendel kann als ein Syſtem einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreiſen ſchwingender Pendel angeſehen werden. Die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, die der längeren durch die der kürzeren beſchleunigt, während jene Puncte, die in einer gewiſſen, zur Axe

des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, ſo ſchwingen, als ob ſie mit den übrigen Puncten des Pendels in keiner unveränderlichen Verbindung wären. Dieſe Puncte heißt man Schwingungspuncte, die Entfernung eines jeden derſelben von der Axe gibt die Länge eines zuſammengeſetzten Pendels, die in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargeſtellten Formeln auf ſie anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspuncte liegen, heißt die Axe der Schwingungspuncte. Sie hat die merkwürdige Eigenſchaft, daß man ſie mit der Drehungsaxe verwechſeln kann, ſo daß ein Pendel an erſterer aufgehängt, nun die Schwingungspuncte in der vorigen Drehungsaxe hat. Hat man an einer Pendelſtange zwei Axen ſo angebracht, daß ſie Secunden ſchlägt, man mag ſie um die eine oder um die andere Axe ſchwingen laſſen; ſo gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels ſehr genau. Hierauf beruht die Einrichtung des Reverſionspendels (Suppl. S. 298). Daß dabei noch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (202) Rückſicht genommen werden müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann die Länge des mit dem zuſammengeſetzten Pendel gleichzeitig ſchwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zuſammengeſetzten aufhängt und es ſo lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig ſchwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungsaxe von der Axe der Schwingungsmittelpuncte. Genauer lehrt dieſes die Rechnung.

243. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieſelbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmeſſer. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt und zugleich einen Zeiger mit ſich herumführt, der die Anzahl der geſchehenen Schwingungen anzeigt. Am ſicherſten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus deſſen Schwingungen man noch leicht $\frac{1}{4}$ Secunde abnehmen kann.

244. Bevor man dieſen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man ſich auf eine elende Art mit Waſſer- und Sanduhren behelfen und aus der Menge des Waſſers oder Sandes, die aus einer Öffnung eines weiten Gefäßes abgefloſſen, die Zeitdauer abnehmen. Man ſieht wohl auf den erſten Blick, wie unſicher dieſes Verfahren ſeyn mußte und wie viel Dank wir dem berühmten

Huyghens ſchulden, der zuerſt den Gebrauch des Pendels als Zeitmeſſer lehrte. *Christ. Hugenii horologium oscillatorium. Paris.* 1673.

Hierauf beruht auch der muſikaliſche Zeitmeſſer *(métronome)*; das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beſchreibt), und deſſen Anwendung auf Tertienzähler.

245. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmeſſer ſeyn ſoll, ſo muß es ſo eingerichtet ſeyn, daß die ausdehnende Kraft der Wärme ſo wenig als möglich darauf einwirkt. Deshalb muß es ſtets in Orten aufbewahrt werden, wo der Wechſel der Temperatur nicht gar zu groß iſt; da aber dieſer nicht ganz vermieden werden kann, ſo nimmt man zu Pendelſtangen ein Material, das ſich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Öhl geſottenes und dann überfirnißtes Holz, oder man ſucht ſie künſtlich zuſammenzuſetzen, damit ſich die Wirkungen der Wärme gegenſeitig aufheben. Eine ſolche Vorrichtung heißt dann eine Compenſation.

Eine der einfachſten, ſinnreichſten und deshalb heut zu Tage wieder beliebte Compenſation iſt die, wo die Pendelſtange unten ein Gefäß mit Queckſilber trägt, wie Fig. 103 zeigt. Die Stange *AB* wird durch die Wärme verlängert und das Queckſilber *CED* ſo ausgedehnt, daß es den Raum *C′ED′* einnimmt. Iſt nun die Queckſilbermenge richtig ausgemittelt, ſo ſenkt ſich der Schwingungspunct des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben ſo viel, als er ſich wegen Ausdehnung des Queckſilbers erhebt, und die Länge deſſelben bleibt beſtändig. Denſelben Zweck ſucht man auch durch die ſogenannten Roſtpendel zu erreichen, deren eines Fig. 104 vorſtellt. *AB* iſt die Pendelſtange von Eiſen, von demſelben Material ſind auch die Stangen *CD* und *cd*, während *EF* und *ef* von Zink ſind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt ſo groß iſt, als die des Eiſens; ſo wird, weil das Pendel in *G* aufgehängt iſt, die Senkung des Schwingungspunctes durch die Ausdehnung der Pendelſtange *AB* und der Hilfsſtangen *CD*, *cd* durch das aufgehoben, um was er ſich bei der Ausdehnung der Zinkſtangen *EF*, *ef* hebt. Sehr ſinnreich iſt die von Martin angegebene Compenſation (Fig. 105). *AB* iſt die Pendelſtange, *CD* ein Querblech, in *C* und *D* mit kugelförmigen Maſſen verſehen, die ſich der *AB* durch Schrauben nähern oder davon entfernen laſſen. *CD* beſteht aus zwei wohl an einander geſchraubten Blechen, die ſich in der Wärme verſchieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten iſt. Iſt nun *CD* bei irgend einer Temperatur gerade; ſo nimmt es bei größerer Wärme die Form *C′D′*, bei geringerer die Form *C″D″* an,

und erhält ſo den Schwingungspunct des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zuſammenziehung der Pendelſtange AB, ſtets in derſelben Entfernung von der Axe.

246. Noch wichtiger wird dem Phyſiker das Pendel dadurch, daß es die Geſetze der irdiſchen Schwere, die in 99 aus einem allgemeinen Naturgeſetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge thut die ſtäte unveränderliche Wirkſamkeit der Schwere an einem und demſelben Orte der Erde dar. 3) Der Umſtand, daß Pendel von dem mannigfaltigſten Materiale, wenn ſie nur gleich geſtaltet ſind, gleichzeitig ſchwingen, beweiſet, daß alle Materie gleich ſchwer ſey. 4) Setzt man in $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, $t = 1$, ſo wird $g = \pi^2 l = 9.86960\, l$, mithin iſt auch die Beſchleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien iſt $l = 3{,}144021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desſelben; ſo muß die Schwere abnehmen, wenn man ſich von der Erde Mittelpunct entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das ſchon von Newton aufgeſtellte Geſetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den Äquator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächſt; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden ſchlug, auf der Inſel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu ſchlagen. 7) Sogar die Gegenſeitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erſcheinungen ſichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieſelben abgelenkt wird.

Bouguer und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988 Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bouguer berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß ſie, wenn man ſie an der Meeresfläche $=1$ ſetzt, zu Quito 0,999249, auf dem Pichincha 0,998816 ſey.

Man kann es als eine durch die Erfahrung beſtätigte Sache anſehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann durch

$$l = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439,2066 die Länge des Sexageſimalſecundenpendels unter dem Äquator in P. Linien bezeichnet.

Mehr über Pendelbewegungen liefert beſonders Kraft's Mechanik, überſetzt von Steingruber. Dresden, 1787, S. 260—350.

C. Bewegung, welche entſteht, wenn eine momentan und eine continuirlich thätige Kraft zugleich auf ein Bewegliches wirken.

247. Die Bewegungen, welche durch gemeinſchaftliche Thätigkeit momentan und continuirlich wirkender Kräfte erzeugt werden, laſſen ſich in ihrem ganzen Umfange keineswegs darſtellen, wenn man nicht zu Lehren der höheren Analyſis ſeine Zuflucht nimmt. Da dieſes hier nicht geſchehen darf, ſo können auch nur einige dieſer Bewegungen abgehandelt werden.

248. Bekommt ein ſchwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß nach verticaler Richtung aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geſchwindigkeit $= h$; ſo wird für den in der Zeit t zurückgelegten Raum s und die in derſelben Zeit erlangte Geſchwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt^2}{2}$$

$$c = h \pm gt$$

wo das Zeichen $+$ gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen $-$, wenn er aufwärts wirkt. Es iſt klar, daß ein Körper im letzteren Falle ſo lange ſteigen wird, bis ſeine Geſchwindigkeit $= 0$ iſt. Heißt t' die Zeit, welche er bis dahin braucht, s' der Raum, den er zurücklegt; ſo hat man $h - gt' = o$ oder $\frac{h}{g} = t'$ und

$$s' = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

249. Wird ein ſchwerer Körper horizontal hingeworfen, ſo beſchreibt er eine Parabel. Denn wenn er, vermöge der Wurfkraft in einer Zeiteinheit den Weg AB (Fig. 106), und in zwei ſolchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der erſten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG; ſo muß er ſich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der erſten Zeiteinheit am Ende der Diagonale des Kräftenparallelogramms

$ABHE$, nämlich in H, nach Verlauf der zweiten in I, nach Verlauf der dritten in K befinden, mithin den Weg $AHIK$ zurücklegen. Es iſt aber

$$EH : FI : GK = 1 : 2 : 3, \text{ und daher}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 = 1 : 4 : 9, \text{ ferner}$$
$$AE : AF : AG = 1 : 4 : 9, \text{ mithin}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 = AE : AF : AG,$$

eine Eigenſchaft, die nur der Parabel zukommt.

250. Wird ein Körper ſchief gegen den Horizont AK (Fig. 107) geworfen, ſo daß die Richtung der Wurfkraft AE mit AK den Winkel $EAK = a$ macht; ſo denke man ſich, er lege durch die Wurfkraft allein in der einfachen Zeit t den Weg AB, in der zweifachen den Weg AC, in der dreifachen AD u. ſ. w. zurück ſo, daß $AB : AC : AD = 1 : 2 : 3$ iſt. Wird jeder dieſer Wege in zwei auf einander Senkrechte AF und FB, AG und GC, AH und HD ꝛc. zerlegt; ſo ſieht man, daß durch die Schwere nur die Wege BF, CG, DH verkürzt werden. Beträgt dieſes für die Zeit t, BL, und heißt die von der Wurfkraft ertheilte Geſchwindigkeit h; ſo iſt $AB = ht$, $AF = ht . \cos a$, $FB = ht . \sin a$, $BL = \frac{gt^2}{2}$, und daher:

$$FL = ht . \sin a - \frac{gt^2}{2}.$$

Dieſe Formel zeigt, daß die Bahn des geworfenen Körpers eine krumme, gegen den Horizont hohle Linie ſeyn muß, die AE zur Tangente hat und den Horizont in zwei Puncten A und K ſchneidet; denn es wird für $t = o$ und für $t = \frac{2h . \sin a}{g}$, $FL = o$.

Der Werth $\frac{2h . \sin a}{g}$ drückt zugleich die Dauer des Wurfes aus. Setzt man in $ht . \cos a$ für t dieſen Werth, ſo erhält man den Werth von $AK = \frac{2h^2 \sin a \cos a}{g} = \frac{h^2}{g} \sin 2a$, der die Wurfweite bezeichnet. Man ſieht zugleich, daß AK bei einerlei Werth von h und g am größten iſt, wenn $a = 45°$, und daß es für $a = 45° + b$, und $a = 45° - b$ einerlei Werth hat. Weil das Bewegliche nach demſelben Geſetze ſteigt und ſinkt, ſo erlangt es

die größte Höhe in der Zeit $\frac{h}{g} \sin a$. Setzt man dieſen Werth in $ht . \sin a - \frac{gt^2}{2}$; ſo erhält man als größte Wurfshöhe

$$\frac{h^2 . \sin a^2}{g} - \frac{h^2 . \sin a^2}{2g} = \frac{h^2}{2g} \sin a^2.$$

Die krumme Linie $ALMNK$ iſt eine Parabel; denn es iſt

$$BL : CM : DN = \frac{gt^2}{2} : \frac{4gt^2}{2} : \frac{9gt^2}{2} = 1 : 4 : 9$$

$AB : AC : AD = 1 : 2 : 3$, alſo

$AB^2 : AC^2 : AD^2 = 1 : 4 : 9$, folglich

$BL : CM : DN = AB^2 : AC^2 : AD^2$, welches eine Eigenſchaft der Parabel iſt.

Die Geſetze des Wurfes wurden auch zuerſt von Galiläi entwickelt.

251. Wenn ein Körper von einer ununterbrochen nach demſelben Puncte wirkenden Kraft gezogen wird, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine ſeitwärts gehende Bewegung erhalten hat; ſo entſteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte, und zwar jene Centripetalkraft, dieſe Tangentialkraft.

252. Es wirke die Centripetalkraft auf A (Fig. 108) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, ſondern daß eine Wirkung auf die andere in der Zeit t folge, ferner daß A in der Zeit t durch die Tangentialkraft den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD; ſo kommt A durch die Wirkung beider in derſelben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms $ABED$ iſt. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, ſo würde A in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit t wieder den Weg $EF = AE$ zurücklegen; weil aber in E wieder die Wirkſamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher A in t den Raum EG beſchriebe, wenn es nicht ſchon in E eine Bewegung hätte, ſo muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derſelbe Fall ein wie in E, ſo daß es klar genug iſt, daß der Weg AEH keine gerade Linie ſeyn kann. Bei der Vorausſetzung einer ſtoßweiſe erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft wäre der Weg des Beweglichen ein Polygon, das in der Ebene der Kräfte liegt. Dieſes Polygon wird ſich aber einer

continuirlich krummen Linie deſto mehr nähern, je kleiner t iſt. Für $t = \frac{1}{\infty}$, d. i. für eine ununterbrochen wirkende Centripetalkraft wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Ihre Beſchaffenheit hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Geſetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunctes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hülfe der höheren Analyſis ohne gar viele Umſchweife gezeigt werden.

253. Die Sectoren ACE und ECH, welche in gleichen Zeiten beſchrieben werden, ſind einander gleich; denn zieht man CF, ſo iſt $\triangle ACE = \triangle ECF$, weil ſie einerlei Höhe und gleiche Baſis haben; ferner $\triangle ECF = \triangle ECH$, weil EC und FH parallel ſind, mithin auch $\triangle ACE = \triangle ECH$. Umgekehrt, wenn bei einer Bewegung in gleichen Zeiten gleiche Sectoren beſchrieben werden, ſo zielt eine von den Kräften, welche ſie hervorbringen, ſtets nach demſelben Puncte, oder die Bewegung iſt eine Centralbewegung. Denn geſetzt, es werde in der Zeit t der Sector ACB (Fig. 109) und in gleicher Zeit der Sector BCD beſchrieben. Wenn in B keine Kraft mehr auf das Bewegliche wirkte, ſo müßte es nach der Geraden ABE fortſchreiten und in der Zeit t den Weg $BE = AB$ zurücklegen; da es aber nach BD abgelenkt wird, ſo kann man die Größe und Richtung der ablenkenden Kraft finden, wenn man DE zieht und das Parallelogramm $BFDE$ vollendet, wo BF die geſuchte Größe ſeyn wird. Zieht man CE, ſo iſt $\triangle ACB = \triangle BCE$, aber auch vermöge der Vorausſetzung $\triangle ACB = \triangle BCD$, mithin $\triangle BCD = \triangle BCE$. Es haben aber dieſe Dreiecke dieſelbe Baſis CB, folglich muß BC mit ED parallel ſeyn, welches nur möglich iſt, wenn BF auf BC fällt und daher das Bewegliche ſtets nach C hingezogen wird.

Dieſer Satz iſt ein ſpecieller Fall des dynamiſchen Princips der Erhaltung der Flächen.

254. Bewegt ſich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 110) vermög Centralkräften, ſo läßt ſich das Verhältniß ſeiner Geſchwindigkeiten in verſchiedenen Puncten A und B ſeiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einer Zeiteinheit, die für ſehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derſelben Zeit von B nach b; ſo ſind Aa und Bb die Geſchwindigkeiten in A und B. Zieht man nun nach dem Mittelpuncte C der Centralkräfte die Linien AC, aC, und BC, bC, ſo iſt $\triangle ACa$

$= \triangle BCb$. Sind Ax und By Tangenten auf A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By ſenkrecht; ſo iſt

$\triangle ACa = Aa \,.\, \frac{CD}{2}$, $\triangle BCb = Bb \,.\, \frac{CE}{2}$, mithin auch $Aa : Bb = CE : CD$, d. i. die Geſchwindigkeiten verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten, welche vom Mittelpuncte der Kräfte auf die Tangente des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus erſieht man ſchon, daß die Bewegung in einem Kreiſe, deſſen Mittelpunct zugleich der Mittelpunct der Centralkräfte iſt, gleichförmig, hingegen in einer Ellipſe, in deren einen Brennpunct der Mittelpunct der Centralkräfte verſetzt iſt, theils beſchleunigt, theils verzögert ſeyn müſſe.

255. Geſchieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreiſe, ſo findet man die Größe der Centripetalkraft p auf folgende Art: Iſt AB (Fig. 111) ein ſehr kleines Stück eines Kreisbogens, der durch Centralkräfte beſchrieben wird; ſo kann man annehmen, daß die Centripetalkraft p mit unveränderter Stärke und nach parallelen Richtungen wirke, ſo lange ſich das Bewegliche in AB befindet. Man hat daher (228. 3) $p = \frac{2s}{t^2} \,.\, (a)$, wo s den Weg bezeichnet, den das Bewegliche durch bloße Wirkung der Centripetalkraft in der Zeit t zurücklegen würde. Zieht man von B auf den Halbmeſſer $AC = r$ die ſenkrechte Linie BF, ſo ſchneidet ſie von AC das Stück $AF = s$ ab; weil aber AB ein ſehr kleines Stück des Kreiſes iſt, ſo kann man es mit ſeiner Sehne verwechſeln und annehmen: $AF : AB = AB : 2AC$, oder $AF = \frac{AB^2}{2AC}$, d. i. $s = \frac{AB^2}{2r}$, mithin aus (a)

$$p = \frac{AB^2}{rt^2} \,.\, (b)$$

Man hat aber auch $AB = ct$, wenn c die Geſchwindigkeit bedeutet, mit welcher die Bewegung im Kreiſe geſchieht, daher wird aus (b)

$$p = \frac{c^2}{r} \,.\, (c)$$

Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf gemacht wird, t, und

das Kreisverhältniß π; ſo iſt $c = \frac{2r\pi}{t}$, und daher aus (c)

$$p = \frac{4r\pi^2}{t^2}.$$

Bedeuten P, R, T dasſelbe für einen zweiten Kreis: ſo iſt

$$P : p = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}.$$

Dieſe Ausdrücke gelten zwar nur für Kreiſe, können aber auf jede krumme Linie angewendet werden, wenn man für R den Krümmungshalbmeſſer ſetzt, der dem Puncte der krummen Bahn entſpricht, wo ſich das Bewegliche befindet.

256. Nimmt man an $P : p = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}$, ſo

erhält man mittelſt $\quad P : p = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$

die Proportion $\quad \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2} = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$, oder

$$T^2 : t^2 = R^3 : r^3, \text{ d. h.}$$

Wenn ſich die Centripetalkräfte verkehrt verhalten wie die Quadrate der Entfernungen, ſo verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Entfernungen.

Dieſes gilt auch umgekehrt; denn ſetzt man voraus

$$T^2 : t^2 = R^3 : r^3,$$

ſo hat man mittelſt $\quad P : p = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$

die neue Proportion $\quad P : p = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2}.$

Dieſes Geſetz heißt das Kepler'ſche, weil es der große Kepler nebſt dem 253 erwieſenen, und einem dritten am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretiſchen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unſterblichen Newton.

257. Wenn ein Körper durch Centralkräfte, oder durch eine Kraft und einen Widerſtand gezwungen wird, ſich in einer krummen Bahn zu bewegen; ſo bekommt er vermöge ſeiner Trägheit ein Beſtreben, ſich von dieſer Bahn zu entfernen, welches man Fliehkraft oder Schwungkraft nennt. Es ſey z. B. Ax (Fig. 112) eine krumme Bahn, in der ſich ein Körper bewegt, und man nehme der Leichtigkeit wegen an, ſie ſey kreisförmig. Iſt er

bis B gelangt, ſo ſucht er wegen ſeiner Trägheit nach der Tangente BC fortzugehen. Geſetzt, er thue dieſes wirklich, und zwar mit der Geſchwindigkeit BC, ſo kann man ſich BC in BD und BE zerlegt denken, wovon erſtere in der Richtung des Halbmeſſers liegt, letztere aber faſt mit dem Bogen BE zuſammenfällt. Fährt aber der Körper fort, ſich im Bogen BE zu bewegen, ſo muß ein Widerſtand oder eine Kraft da ſeyn, wodurch BD aufgehoben wird. BD iſt nun die Fliehkraft. Bei der Bewegung im Kreiſe iſt ſie der Centripetalkraft gleich und entgegengeſetzt, kann daher auch wie dieſe ausgedrückt werden. Iſt p die Fliehkraft für die Maſſe 1, p' dieſelbe für die Maſſe m, ſo wird $p' = mp$; aber

$$p = \frac{4r\pi^2}{t^2} \text{ (255), mithin } p' = \frac{4mr\pi^2}{t^2}.$$

Bedeuten P, M, R, T dasſelbe für einen anderen Kreis, in welchem ſich die Maſſe M bewegt; ſo wird $P' = \frac{4MR\pi^2}{T^2}$, und

$$P' : p' = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}.$$

258. Wenn ſich ein Körper um eine Axe dreht, ſo bekommen alle außer derſelben liegende Theile ein Beſtreben, ſich nach einer auf ſie ſenkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines ſolchen Körpers verſchiebbar, ſo kann dadurch eine Änderung in der Geſtalt desſelben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die ſich um einen ihrer Durchmeſſer dreht, bekommt eine abgeplattete Geſtalt, weil nämlich die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe ſenkrechten Kreiſes liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche ſich in einer anderen Ebene befinden. Sind die Theile eines ſich drehenden Körpers nicht verſchiebbar, ſo geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Iſt dieſe Axe vollkommen ſymmetriſch von Maſſe umgeben, ſo wird die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengeſetzte eines anderen Theilchens aufgehoben, und es heben ſich daher auch die Wirkungen auf die Axe auf. Darum heißt ſie auch eine freie Axe. Von der Art iſt die Axe der Erde, die unſerer gewöhnlichen Schwungräder ꝛc. Eine ſolche Axe kann während der Dauer der drehenden Bewegung nur durch eine bedeutende Kraft verrückt werden, wenn der Körper auch während des Zuſtandes der Ruhe durch die kleinſte Kraft aus dieſer Lage gebracht werden kann, weil die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu

erhalten ſucht, in der es ſich zu drehen begann. Dieſes läßt ſich beſonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Inſtrumente verſinnlichen, das in Fig. 113 abgebildet iſt. Es beſteht aus drei unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen, und aus einer innerhalb des kleinſten derſelben angebrachten maſſiven, um ihre Axe beweglichen Kugel. An der Axe derſelben iſt eine kleine Rolle angebracht. Gibt man dem inneren Kreiſe und dadurch auch der Axe der Kugel eine ſchiefe Lage, befeſtiget an einem Stift der Rolle eine mit einer Schlinge verſehene feine Schnur, wickelt ſie faſt ganz auf, und ſetzt dann durch einen raſchen Zug an dieſem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine ſchnelle drehende Bewegung; ſo kann man das Inſtrumentchen frei herumtragen und die Axe wird immer nach derſelben Gegend hinſehen, ſelbſt kleine Steinchen, die man auf den Umfang des inneren Ringes herabfallen läßt, bringen ihn nicht aus ſeiner Lage, wiewohl er im ruhigen Zuſtande durch die kleinſte Berührung verrückt wird. Bringt man am unteren Theile des inneren Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches ihn, wenn kein Drehen Statt findet, ſo herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical ſteht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; ſo nimmt die Axe nicht alſogleich die verticale Lage an, ſondern bewegt ſich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengeſetzt iſt und zwar mit einer deſto größeren Geſchwindigkeit, je langſamer die Axendrehung der Kugel wird. (Gilb. Ann. 60. 60.)

Aus der Fliehkraft erklären ſich: das Spritzen naſſer Räder oder der Schleifſteine beim Umdrehen, das heftige Herumſchleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlſteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; Heß's Waſſermaſchine (ein Syſtem offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieſelbe geneigter Röhren, die unten im Waſſer ſtehen, oben aber in eine Rinne ſich münden (Fig. 114)); die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erſcheinungen, welche mittelſt der ſogenannten Centralmaſchine hervorgebracht werden.

Siehe über Centralbewegung: *Newtonii philosophiae naturalis principia mathematica. Lond.* 1687. *Perpetuis comment. illustrata communi studio P. P. Jacquier et le Seur et D. Calandrini. Genev.* 1793. *Comment. illust. potissimum Joan. Tessanek. Pragae,* 1780. *tom. I.*

D. Stoß der Körper.

259. Wenn ein Körper an eine bewegliche Maſſe anſtoßt, ſo erleidet er nicht nur eine Veränderung, ſondern bewirkt auch eine an der geſtoßenen Maſſe. Die Größe und Beſchaffenheit dieſer Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zuſammenſtoßenden Körper, von ihrer Geſchwindigkeit, Maſſe und Geſtalt, ja auch von ihrer Elaſticität und ihrem Aggregationszuſtande ab. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo ſie einander im Anfange des Stoßes berühren, ſenkrecht iſt, ſonſt ſchief; man nennt ihn central, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch deren Schwerpunct geht, excentriſch, wenn dieſes nicht der Fall iſt. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden ſollen, iſt jeder gerade Stoß auch ein centraler.

260. Wie der Stoß auch beſchaffen ſeyn mag, ſo geht doch immer eine Veränderung in der Bewegung der Körper vor. Da häufig bei einer ſolchen Veränderung die Geſchwindigkeit aller Theile eines Körpers bis zu einem beſtimmten Grade wachſen muß, und dieſes nicht augenblicklich geſchehen kann; ſo wird dazu auch eine gewiſſe Zeit erfordert. Wirkt nun eine Maſſe auf eine andere zu ſchnell, als daß ſich die Geſchwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; ſo werden die unmittelbar getroffenen Puncte des geſtoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müſſen. Iſt der Zuſammenhang der Theile nicht groß genug, um dieſer Gewalt zu widerſtehen, ſo erfolgt eine Trennung. Dieſes erläutern unzählige Erſcheinungen. Z. B. ein Bret, das ſo aufgeſtellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt ſtehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer ſcharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer ſolchen Kugel durchlöchert, ohne zerſplittert zu werden, während letzteres bei einem ſchwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langſam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu beſtimmtes Felsloch geſchüttet und mit loſem Sande bedeckt, zerſprengt den Fels, wenn es angezündet wird u. a. m.

261. Sind M und m unelaſtiſche Maſſen, die ſich mit den Geſchwindigkeiten C und c, und zwar gerade und central ſtoßen;

ſo iſt MC die Größe der Bewegung der erſten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Maſſe, und es iſt einerlei, ob M mit der Geſchwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen ſich nun M und m gegen einander, und es iſt $MC = mc$, ſo ruhen beide Maſſen nach dem Stoße. Iſt aber $MC > mc$, ſo bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und dieſe Kraft muß die Maſſe $M + m$ nach der Richtung, welche der Maſſe M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geſchieht dieſes mit der Geſchwindigkeit x, ſo iſt

$$MC - mc = (M + m)\,x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen ſich beide Maſſen in derſelben Richtung, ſo muß die anſtoßende Maſſe M der geſtoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert ſie aber ſelbſt, und zwar ſo lange, bis beide Maſſen mit gleicher Geſchwindigkeit fortſchreiten. Heißt dieſe Geſchwindigkeit x, ſo iſt $MC + mc$ das Maß der Reſultirenden vor dem Stoße, $(M + m)\,x$ dasſelbe nach dem Stoße, und daher $M\,(C - x)$ der Verluſt an bewegender Kraft bei der Maſſe M, $m\,(x - c)$ der Gewinn bei der Maſſe m, und

$$M(C - x) = m(x - c) \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = o$ wird $x = \dfrac{MC}{M + m}$.

Alle drei Fälle ſtellt die Formel $x = \dfrac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c poſitiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinſtimmt, oder ihr entgegengeſetzt iſt, d. i. je nachdem ſich beide Maſſen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen.

262. Aus den Geſetzen des Stoßes für unelaſtiſche Maſſen laſſen ſich leicht jene ableiten, welche beim Stoße elaſtiſcher Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elaſticität mit in Rechnung zu bringen. Um die Beſchaffenheit dieſes Einfluſſes einzuſehen, betrachte man, was ſich ereignet, wenn ein elaſtiſcher Körper an eine feſte, unbewegliche Wand anſtößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zuſammengedrückt, ſo daß ſein Durchmeſſer, der auf der getroffenen Fläche ſenkrecht ſteht, vermindert wird; dabei erleidet er dieſelbe Veränderung, als wenn er feſt wäre, d. i. er

verliert ſtufenweiſe ſeine Bewegung. So wie ſeine Geſchwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach, wenn er ſie ganz eingebüßt hat, fängt er an, ſeine vorige Geſtalt wieder anzunehmen und ſich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung von Neuem, aber nach entgegengeſetzter Richtung, vorausgeſetzt, daß er vollkommen elaſtiſch iſt. Wäre dieſes nicht der Fall, ſo würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

Stoßen zwei elaſtiſche Maſſen (Fig. 115) M und m zuſammen, ſo iſt leicht einzuſehen, daß jede für ſich eine Veränderung erleidet, die der ähnlich iſt, welche vorhin angegeben wurde. Geſetzt die Maſſen M und m ſchreiten vor dem Stoße mit den Geſchwindigkeiten C und c fort, wo c negativ iſt, wenn m eine der M entgegengeſetzte Richtung hat. Berühren ſich beim Beginne des Stoßes die Maſſen in A, ſo mag BAC eine Ebene ſeyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m ſenkrecht ſteht und gegen welche der Stoß beider Maſſen gerichtet iſt. Offenbar iſt hier alles ſo wie vorhin, nur mit dem Unterſchiede, daß die Ebene BAC ſelbſt beweglich gedacht werden muß. Deshalb wird auch die Geſchwindigkeit des anſtoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zuſammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in ſo weit verloren gegangen ſeyn, bis ſie der Geſchwindigkeit der Ebene BAC, oder des geſtoßenen Körpers gleich kommt; denn in dieſem Falle iſt es gerade ſo, als wenn die anſtoßende Maſſe und die Ebene BAC gegen einander in Ruhe wären. Verwandelt ſich während des Zuſammendrückens C in x, ſo beträgt der Verluſt an Größe der Bewegung der Maſſe M, $M(C-x)$, und ihre Größe der Bewegung nach dem Stoße $Mx - M(C-x) = MC'$, wenn C die Geſchwindigkeit nach dem Stoße bedeutet; daher iſt

$$1)\qquad \frac{Mx - M(C-x)}{M} = 2x - C = C'$$

Auf gleiche Weiſe findet man die Geſchwindigkeit c' der Maſſe m nach dem Stoße

$$2)\qquad 2x - c = c'$$

Setzt man für x den Werth aus 261, ſo wird

$$3)\qquad \frac{(M-m)\,C + 2mc}{M+m} = C$$

$$4)\qquad \frac{(m-M)\,c + 2MC}{M+m} = c'$$

Aus dieſen Formeln ergeben ſich mehrere wichtige Folgerungen. Setzt man $M = m$, ſo erhält man $C = c$ und $c' = C$; d. i. elaſtiſche Körper von gleicher Maſſe vertauſchen durch den Stoß ihre Geſchwindigkeit und Richtung.

Ruht die Maſſe m, ſo iſt

$$C = \frac{(M - m)\,C}{M + m},\ c' = \frac{2MC}{M + m}.$$

Der Werth von C iſt nun poſitiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ iſt; daher werden auch die Richtungen des anſtoßenden Körpers für die beiden Fälle einander entgegengeſetzt ſeyn.

Aus den Werthen C und c' in 1 und 2 wird

$C - c' = c - C$, d. i. die relative Geſchwindigkeit beider Körper nach dem Stoße iſt der relativen Geſchwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengeſetzt.

Dieſelben Werthe von C und c' in 3 und 4 geben:

$$MC^2 + mc'^2 = 4x^2\,(M + m) - 4x\,(MC + mc) + MC^2 + mc^2,$$

oder für x den Werth geſetzt

$$MC^2 + mc'^2 = MC^2 + mc^2 \text{ d. i.}$$

beim Stoße vollkommen elaſtiſcher Körper iſt die Summe der lebendigen Kräfte vor und nach dem Stoße gleich. Letzteres iſt ein beſonderer Fall des ſogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Geſetze des Stoßes wurden faſt gleichzeitig von Wallis, Huyghens und Wren entdeckt.

263. Um die Übereinſtimmung dieſer Geſetze mit der Erfahrung zu prüfen, oder vielmehr, um zu zeigen, wie weit ſich die Körper, die uns zu Gebote ſtehen, dem Zuſtande der vollkommenen Elaſticität oder Unelaſticität nähern, bedient man ſich der ſogenannten Stoßmaſchine, wie ſie Nollet und s'Graveſande angegeben haben. Das Weſentlichſte einer ſolchen Geräthſchaft beſteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD hängenden Kugeln (Fig. 116), die ſo neben einander hängen, daß ihre Körper B und D einander berühren und ihre Mittelpuncte in derſelben Höhe liegen. Hinter ihnen befindet ſich ein Kreisbogen EF, der von ſeinem unterſten Puncte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt iſt. Wird einer dieſer Körper bis G gehoben und dann frei gelaſſen, ſo erlangt er

beim Fallen durch den Bogen *GB* eine Geſchwindigkeit, die man nach 239 finden, und gleich am Gradbogen ſelbſt ein für allemal anmerken kann. Zu Verſuchen über den Stoß feſter, unelaſtiſcher Körper nimmt man Maſſen aus trockenem Thon oder Mehlteig, für elaſtiſche wählt man Elfenbein oder Guajacholz. Hängt man mehrere elaſtiſche Kugeln von gleichem Durchmeſſer neben einander, hebt dann eine gewiſſe Anzahl auf, und läßt ſie zugleich herabfallen, damit ſie an die übrigen anſtoßen; ſo fliegen auf der entgegengeſetzten Seite gerade ſo viele weg, als auf der anderen gehoben wurden. Der Grund dieſer Erſcheinung liegt in 262. Wählt man ſolche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beſtändig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derſelben eine gewiſſe Geſchwindigkeit; ſo muß die zweite dadurch ſchon eine größere Geſchwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und ſo fort bis zur kleinſten und letzten, welche die größte Geſchwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in ſeinem Werke *de motu corporum ex percussione (op. posth. tom. II. pag.* 104) folgendes Beiſpiel an: Hängen 100 elaſtiſche Kugeln neben einander, deren Maſſen wachſen, wie die Zahlen 1, 2, 4, 8, ꝛc. und es ſtoßt die größte mit der Geſchwindigkeit 1 an die nächſtfolgende; ſo muß die letzte mit einer Geſchwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 2338500000000 ausgedrückt wird.

264. Beim ſchiefen Stoß läßt ſich die Richtung der bewegten Körper immer in zwei auflöſen, wovon eine für ſich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher erſtere für ſich allein, und findet die Geſchwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, ſetzt dieſe mit der vorhin außer Acht gelaſſenen zuſammen; ſo erhält man die wahre Richtung und Geſchwindigkeit nach dem Stoße. Geſetzt es bewege ſich eine unelaſtiſche Maſſe nach der Richtung *AB* (Fig. 117) gegen die unbewegliche Ebene *CD*, und es ſey ihre Geſchwindigkeit durch *BE* ausgedrückt. Löſet man *BE* in die mit *CD* parallele *BF* und in die auf ſie ſenkrechte *BG* auf; ſo ſieht man, daß letztere durch den Widerſtand der Ebene aufgehoben wird und daß ſich der Körper nach dem Stoße längs der *CD* mit der Geſchwindigkeit *BF* fortbewegen muß. Iſt der Körper elaſtiſch, ſo wird im Momente des Zuſammendrückens *BG* aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geſchwindigkeit nach entgegen-

geſetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elaſticität des Körpers gleich BG, widrigenfalls aber kleiner iſt als BG. Iſt nun in der Vorausſetzung des erſteren Falles $BH = BG$, ſo nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale BI des Parallelogramms $BHIF$, und man kann leicht beweiſen, daß $ABC = IBD$ iſt. Geſchähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche KBL, ſo müßte dasſelbe wie vorhin geſchehen, wenn CD die Berührungsebene auf dem getroffenen Puncte B von KL vorſtellt.

Sind M und m (Fig. 118) Maſſen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, ſo daß ſie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und ſtellen MA und mB die Geſchwindigkeiten der Maſſen vor dem Stoße vor; ſo ziehe man durch die Mittelpuncte der Maſſen M und m die gerade Linie CD und zerlege MA in die auf CD ſenkrechte DA und in die mit ihr parallele MD, eben ſo mB in die mC und CB. Die Kräfte mC und MD bewirken einen geraden Stoß, wozu CB und DA gar nichts beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geſchwindigkeit ME, ſo ſetze man ſie mit EF zuſammen, wo EF mit DA gleich und parallel iſt, und es iſt MF die Richtung der Maſſe M nach dem Stoße. Auf gleiche Weiſe findet man die Richtung der Maſſe m.

265. Der excentriſche Stoß bewirkt außer der fortſchreitenden Bewegung, die ſo vor ſich geht, als wäre er central, noch eine drehende um die Axe, welche durch den Mittelpunct der Maſſe des geſtoßenen Körpers geht und auf der Ebene, die den Mittelpunct der Maſſe und die Richtung des Stoßes enthält, ſenkrecht ſteht. Um ſich davon zu überzeugen, ſey der geſtoßene Körper durch eine Ebene geſchnitten, welche durch den Mittelpunct ſeiner Maſſe G (Fig. 119), und durch die Richtung Ax der Kraft $P = CB$ geht, mit welcher der Stoß geſchieht. Zieht man GC auf AB ſenkrecht, verlängert ſie bis D, ſo daß $CG = GD$ iſt, bringt in D zwei einander entgegengeſetzte und gleiche Kräfte DE und DF von der Größe $\frac{P}{2}$ an, die mit P parallel wirken; ſo wird dadurch an der Sache gar nichts geändert. Denkt man ſich noch dazu P in zwei Kräfte CH und HB, die nach derſelben Richtung wirken, zerlegt, und wovon jede $\frac{P}{2}$ iſt; ſo hat man es mit vier Kräften zu thun, wovon HB und DF eine durch G gehende Reſultirende von

der Größe $HB + DF = P$ geben und daher eine fortſchreitende Bewegung hervorbringen, während CH und DE eine Drehung um G bewirken. Bei dieſer Drehung bleiben die in der Ebene der drehenden Kräfte liegenden Puncte des Körpers ſtets in dieſer Ebene, die Drehung erfolgt daher um eine Axe, welche auf dieſer Ebene ſenkrecht ſteht. Über den Stoß findet man mehr in *s'Gravesande elementa physicae. Leidae* 1742. *tom. I. p.* 254 *et s.* Die erſten Originalaufſätze enthalten: *Walisii tractatus de percussione. Oxon.* 1699. *Hugenii op. posth. Ludg. Bat.* 1703. *p.* 369. *et s.*)

Zweites Kapitel.

Hinderniſſe der Bewegung und ihre Wirkungen.

266. Die Erfahrung lehrt, daß die bewegenden Kräfte oft durch einen Widerſtand gehindert werden eine Bewegung zu bewirken, oder daß die Bewegungen, die ſie hervorbringen, durch Hinderniſſe mehr oder weniger geſchwächt werden. Solche Hinderniſſe ſind: 1) die Reibung, 2) der Widerſtand des Mittels, d. i. derjenigen Flüſſigkeit, worin ſich ein Körper bewegt, 3) die Steifheit der Stricke.

267. Jeder Körper, er mag wie immer glatt oder geebnet ſeyn, hat an ſeiner Oberfläche Unebenheiten. Liegen nun zwei ſolche Körper über einander, ſo werden durch das Gewicht des aufliegenden die Erhabenheiten des einen in die Vertiefungen des anderen eingedrückt, und ſie können nicht über einander bewegt werden, außer die Erhabenheiten werden losgeriſſen, verſchoben oder ein Körper erhebt ſich und überſteigt die Erhöhungen. Daß dazu eine Kraft erforderlich ſey, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann ſie auf zweierlei Art anbringen; entweder ſo, daß ſie unmittelbar dahin wirkt, wo die Reibung Statt findet, oder ſo, daß ſie mittelſt einer Maſchine (eines Hebelarmes) die Theile angreift, wo die Reibung geſchieht. Die Kraft, welche im erſten Falle der Reibung das Gleichgewicht hält, iſt das Maß der abſoluten, die dasſelbe im zweiten Falle leiſtet, das Maß der relativen Reibung.

268. Über die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Verſuche angeſtellt. Er bediente ſich dazu einer Vorrichtung, die ſchon früher von Muſſchenbroek, wiewohl unvoll-

kommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmeſſer (Tribometer) heißt. Sie beſteht (Fig. 120) aus einem ſehr feſten, horizontalen Tiſch *A*, auf dem der Länge nach zwei Holzſtücke *a* befeſtiget ſind, die über denſelben beiderſeits hinausragen und auf einer Seite eine Rolle *b*, auf der anderen einen Haſpel *c* haben. Über dieſe Holzſtücke wird eine möglichſt geglättete Bohle *B* ſo gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal iſt. Hierauf kommt eine Schleife *C* zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberſtehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befeſtigen, welche über die Rolle geht, und eine Wagſchale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig ſind, um die Schleife über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelſt einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haſpels die Schleife wieder zurückführen zu können. Um Reibungsverſuche unter möglichſt abgeänderten Umſtänden machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verſchiedenem Materiale, beſonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben ſo mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demſelben, bald jedes aus einem anderen Stoffe beſtehen, änderte das Gewicht der Schleife und die Menge der Berührungspuncte mit der Unterlage verſchieden ab, ließ ſie bald ungeſchmiert, bald mit Schmiere verſehen über einander gleiten, unterſuchte die Reibung einmal gleich, nachdem die Schleife auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit ſpäter, nachdem ſie in Berührung gekommen waren, ſowohl wenn ſie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung ſelbſt, ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geſchwindigkeit vor ſich gehen und beſtimmte bei jedem dieſer Verſuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher ſich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte ſeine Verſuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verſchiedenem Materiale drehen ließ und die Größe der Reibung beſtimmte.

Viele von Coulomb's Vorgängern in der Unterſuchung derſelben Sache, z. B. Amontons, Bilfinger, bedienten ſich dazu einer ſchiefen Ebene mit veränderlichem Erhöhungswinkel. Sie legten den Körper, deſſen Reibung unterſucht werden ſollte, auf dieſe Ebene und vergrößerten den Neigungswinkel ſo lange, bis der Körper anfing, ſich abwärts zu bewegen. Heißt man dieſen Winkel

a, den Reibungsexponenten *m*, das Gewicht des Körpers *P*; ſo iſt die Größe des Druckes, den der Körper auf die ſchiefe Ebene ausübt, $P\cos a$, mithin die Größe der Reibung $mP\cos a$, die Kraft, mit welcher er längs der ſchiefen Ebene hinabgetrieben wird, $P\sin a$. Da nun in dem Augenblicke, wo die Bewegung beginnt, die Reibung nahe der Kraft gleich iſt, mit welcher der Körper hinabzugleiten ſucht; ſo hat man

$$P\sin a = mP\cos a, \text{ das iſt: } m = \tan g\, a.$$

269. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende: 1) Die Größe der Reibung iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen, oder ſich mit was immer für einer Geſchwindigkeit bewegen. 2) Sie wächſt mit der Zeit der Berührung, doch ſo, daß ſie nach einer gewiſſen Zeit den größten Werth erlangt. Dieſes geſchieht bei Metall auf Metall faſt augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erſt nach Tagen. 3) Sie iſt deſto größer, je rauher die ſich berührenden Flächen ſind; doch kann ſie auch eine zu ſtrenge Politur vermehren. Bei mäßiger Glätte iſt der Reibungsexponent $\frac{1}{3}$. 4) Ob ſich ein Körper mit ſeiner kleineren oder größeren Fläche reibt, hat keinen merklichen Einfluß auf die Größe der Reibung; in dieſem Falle berühren ſich zwar mehrere Theile, als in jenem, werden aber wieder durch eine geringere Kraft an einander gedrückt. 5) Beim Übergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geſchwindigkeit hat, wenn ſie nicht ſehr groß iſt, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, ſo lange ſich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verſchiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächſt die Reibung beinahe in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Geſchwindigkeiten in einer arithmetiſchen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben ſich gewöhnlich ſtärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterſchied Statt. So reibt ſich z. B. Stahl am wenigſten auf Zink, mehr auf Meſſing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meiſten auf Zinn. 8) Cylindriſche und runde Körper reiben ſich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn ſie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt ſich auf Holz minder, wenn ſich die Faſern durchkreuzen, als wenn ſie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung,

wenn ſie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verſchiedene Körper thun auch verſchiedene Schmiermittel die beſten Dienſte.

270. Aus dieſen Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, welche uns zu Gebote ſtehen, um die Reibung zu vermindern. Dieſe ſind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, ſo viel es andere Rückſichten zulaſſen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die ſich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der Garnet'ſchen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Übel, iſt von der anderen zu verſchiedenen Zwecken nützlich. Mittelſt der Reibung ſtehen Körper ſelbſt auf einer ſchiefen Ebene feſt, es laſſen ſich Körper zuſammennageln, zuſammenſchrauben, ſchnelle Bewegungen vermindern, wie dieſes z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablaſſen ſchwerer Fäſſer in Keller geſchieht. Über die Reibung ſiehe: *Architectura hydraulica* von Prony (aus dem Franz. von Langsdorf). Frankfurt a. M. 1795. I. Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung. Frankfurt a. M. 1789.

271. Faſt alle Bewegungen geſchehen in der Luft oder im Waſſer. Es tritt daher überall der Widerſtand der Luft oder des Waſſers ein, der darin beſteht, daß der bewegte Körper einen Theil dieſer Flüſſigkeit aus ihrem Raume verdrängen muß, welches dieſelbe Wirkung hervorbringt, als wenn ein Theil ſeiner bewegenden Kraft ganz vernichtet worden wäre und er ſich mit dem übrigen Theile dieſer Kraft im leeren Raume bewegte. Mit der Berechnung dieſes Widerſtandes haben ſich die größten Mathematiker beſchäftiget und gefunden, daß er abhänge: 1) von der Dichte des Mittels, 2) von der Größe und Geſtalt der Oberfläche des bewegten Körpers, 3) von dem Quadrate ſeiner Geſchwindigkeit. Allein die Erfahrung ſtimmt mit dieſen Geſetzen nur bei mittleren Geſchwindigkeiten überein, bei größeren und bei ſehr kleinen weicht ſie ſehr davon ab und zwar im erſteren Falle beſonders deßhalb, weil die verdrängte Flüſſigkeit auch nur mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit den vom bewegten Körper verlaſſenen Platz wieder einnimmt und daher hinter einer ſehr ſchnell bewegten Maſſe gleichſam ein leerer Raum entſteht. Dieſes iſt bei der Bewegung in der Luft der

Fall, ſobald die Geſchwindigkeit des bewegten Körpers etwa 880 Fuß überſteigt.

Dieſe Geſetze werden es begreiflich machen, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt, warum ein Schnellſegler ganz anders eingerichtet ſeyn muß, als ein Schiff, das viel zu faſſen beſtimmt iſt, warum ein Schiff nach der Länge ſo leicht, nach der Breite ſo ſchwer beweglich iſt. Einem Vogel kommt ſein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fiſche eben derſelbe beim Schwimmen ſehr zu Statten; ein ſchnell vorwärts ſchreitender Menſch ſucht ſich, beſonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieſes Vortheils einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen iſt dieſer Widerſtand beim Fliegen, Rudern, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallſchirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Unterſuchungen über dieſen Artikel findet man in: *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1817. *p.* 221 *e. s. Euleri scientia navalis. Pet.* 1794. *tom. I. p.* 206 *e. s.*

272. Man wird häufig in die Nothwendigkeit verſetzt, Stricke über Walzen oder Rollen zu biegen. Dazu braucht man aber, weil die Stricke der Biegung widerſtehen, eine Kraft. Iſt z. B. *BDA* (Fig. 121) eine Walze, um welche der Strick *BDA* gebogen iſt, *P* das Gewicht an einem, *Q* am anderen Ende des Strickes, und man nimmt an, daß die Walze von *B* nach *D* bewegt werde und den umgebogenen Strick *BDA* mit ſich fortführe. Da nun der Strick nicht vollkommen biegſam iſt, ſo wird das Stück *PB* beim Aufwinden von der verticalen Richtung *BP* abweichen und die Richtung *BP'* annehmen. Iſt nun *P'E* vertical durch den Schwerpunct des Gewichtes *P'* gezogen, ſo ſieht man, daß *Q* größer ſeyn müſſe als *P'*, weil letzteres den Abſtand *CE*, erſteres den Abſtand *AC* von der Umdrehungsaxe *C* hat. Die Kraft *P'—P* iſt die Größe der Steifheit. Es wird zwar auch *AQ* von der verticalen Richtung abweichen, weil der Strick in *A* gerade werden ſoll und dieſes wegen Mangel an vollkommener Elaſticität nicht geſchieht, doch iſt dieſe Abweichung ſo gering, daß man ſie vernachläſſigen und *AQ* als vertical anſehen kann. Unterwirft man nach dieſer Anſicht die Steifheit der Stricke der Berechnung und vergleicht ſie mit den Verſuchen, die mehrere Phyſiker, insbeſondere Amontons und Coulomb, angeſtellt haben; ſo findet man, daß ſie bei übrigens gleichen Umſtänden deſto größer ſey, je dicker der Strick, je kleiner der Durchmeſſer der Welle, um die er gewickelt wird, und je grö-

ßer die Kraft iſt, welche ihn ſpannt. Die nähere Darſtellung liefert: Eytelwein's Handbuch der Statik feſter Körper. Berlin, 1808. Bd. 2. S. 23 u. f.

273. Die hier erwähnten widerſtehenden Kräfte ſind Urſache, daß die Bewegungen der Körper in der Natur oft ſo bedeutend von den Geſetzen abweichen, die früher aufgeſtellt wurden. Wenn in einer Maſchine zwiſchen Kraft und Laſt Gleichgewicht herrſcht, ſo ſoll, der reinen Theorie nach, jeder Zuſatz zur Kraft ſchon eine Bewegung zur Folge haben. Dieſes iſt aber nicht der Fall, und die Urſache dieſer Erſcheinung iſt die Wirkung der widerſtehenden Kräfte. Erſt wenn die Kraft um ſo viel vermehrt worden iſt, daß nach Abzug jenes Theils, der verwendet wird, um der Laſt und den Hinderniſſen das Gleichgewicht zu halten, noch etwas übrig bleibt, erfolgt eine Bewegung. Wiewohl dieſe Kraft, welche man Überwucht zu nennen pflegt, beſtändig wirkt; ſo bekommt doch die Maſchine keine gleichförmig beſchleunigte Bewegung, ſondern nimmt bald nach Beginn der Bewegung einen gleichförmigen Gang an. Die Urſache liegt meiſtens darin, daß mit zunehmender Geſchwindigkeit auch die widerſtehenden Kräfte wachſen.

274. Wenn eine Kraft momentan auf einen Körper wirkt, ſo bewegt er ſich auch nicht gleichförmig und beſtändig fort, wie es ſeyn müßte, wenn dieſe Bewegung ungehindert vor ſich gehen könnte, ſondern kommt nach einiger Zeit in Ruhe, nachdem ſeine Geſchwindigkeit ſtufenweiſe abgenommen hat.

275. Der freie Fall ſchwerer Körper iſt auch in den in der Natur vorkommenden Fällen nicht gleichförmig beſchleunigt, ſondern nähert ſich, in einem Mittel von gleicher Dichte, der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne ſie doch je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieſes an fallenden Papierſchnitzchen oder Federn ſehen können. Dem Widerſtande der Luft muß es auch zugeſchrieben werden, daß nicht alle Körper von derſelben Höhe gleich ſchnell zur Erde fallen; der dichtere kann den Widerſtand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demſelben Volumen, mithin bei demſelben Widerſtande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat. Indeß wird ſelbſt der dichteſte Körper, wenn man ihn ſehr fein zertheilt hat, nicht mehr den Widerſtand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerſtand mitunter abhängt, in

einem geringeren Verhältniſſe abnimmt, als ſeine Maſſe, durch welche er überwältigt werden ſoll. Hierauf beruht das Schlemmen. Die Bewegung eines ſchweren Körpers über eine ſchiefe Ebene muß offenbar noch mehr von der gleichförmig beſchleunigten abweichen, weil zum Widerſtande des Mittels auch noch die Reibung kommt. Ein Pendel, das ohne widerſtehende Kräfte ein wahres *mobile perpetuum* abgeben könnte, verliert dieſen Vorzug blos durch die Einwirkung ſolcher Kräfte. Es wird nämlich durch den Widerſtand der Luft und durch die Reibung an der Axe dahin gebracht, daß es, wenn es auch von *C* (Fig. 101) herabgefallen, nicht wieder bis *H* ſteigt, und noch weniger wieder bis *C* zurückkommt. Es beſchreibt vielmehr immer kleinere Bögen, bis es endlich ganz in Ruhe kommt. Man kann aber doch bei zweckmäßiger Einrichtung die Bewegung mehrere Stunden anhaltend machen.

276. Daß die Elemente der Bahn eines geworfenen Körpers anders ausfallen, als die Theorie angibt, beſtätiget die Erfahrung nur gar zu ſehr. Es iſt aber hier ſchwierig alle Hinderniſſe, z. B. die Reibung einer losgeſchoſſenen Kugel an den Wänden des Rohres und den Widerſtand der Luft, gehörig in Rechnung zu bringen; doch kann man leicht einſehen, daß der abſteigende Arm der Wurflinie merklich ſtärker gekrümmt ſeyn müſſe als der aufſteigende, daß die Wurfhöhe und Wurfweite hinter der berechneten zurückbleiben werde, und daß nur bei hinlänglich dichten Maſſen eine mäßige Annäherung der Erfahrung an die Theorie zu erwarten ſey. Auch die größte Wurfsweite findet nicht bei einem Elevationswinkel von 45° Statt, ſondern bei einem viel kleineren.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper. (Hydrodynamik.)

A. Fortſchreitende Bewegung.

277. Daß tropfbare Flüſſigkeiten ſo, wie Körper im Allgemeinen, den bewegenden Kräften folgen und daß, wenn einmal eine Bewegung beſtimmter Art hervorgebracht iſt, dieſe nach den allgemeinen Bewegungsgeſetzen geſchehen müſſe, iſt für ſich klar,

und in ſo fern wäre über die Bewegung ſolcher Flüſſigkeiten nichts weiter zu ſagen. Allein die Verſchiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einſeitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüſſigkeiten Bewegungen geſchehen, wo bei feſten Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüſſigkeit entſtehen, die von der Bewegung der ganzen Maſſe verſchieden ſind. Dieſe inneren Bewegungen erſchweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein und ließen ſie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, der ſich die Theorie der Bewegung feſter Körper erfreut. Daher kann auch hier nur das Allgemeinſte entwickelt werden, um ſo mehr, da die weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

278. Verſuche über die Bewegung flüſſiger Körper ſtellt man am beſten mit gläſernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal ſteht. Man muß ſowohl am Boden als an den Seiten in jeder Höhe Öffnungen von beliebiger Größe anbringen, ſie wieder verſchließen, wohl auch Röhren von verſchiedener Geſtalt und Länge daran ſetzen können.

279. Es ſey *ACDB* (Fig. 122) ein ſolches Gefäß, mit Waſſer bis *CD* gefüllt. Sobald *EF* oder *GH* geöffnet wird, muß Waſſer herausfließen und dieſem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche ſinken und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Maſſe entſtehen. Wenn das vorhergehende Waſſer ſo ſchnell ausweicht, als das darüberſtehende folgen will, ſo erfolgt gar kein Druck der Waſſermaſſen auf einander; fließt aber das vorausgehende Waſſer nicht ſo ſchnell, als das folgende fließen will, ſo drückt dieſe Maſſe auf jene, es entſteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen ſuchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher wird in einem ſolchen Falle jedes Theilchen von einer Kraft beſchleunigt, die zum Theil von ſeinem eigenen Gewichte, zum Theil vom Drucke des vorangehenden und nachfolgenden Waſſers abhängt. Die Oberfläche des Waſſers bleibt während des Ausfluſſes, wenn die Öffnung *EF* gegen die Weite des Gefäßes ſehr klein iſt, ſelbſt während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Waſſer an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Dieſe rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüſſigkeit in der Nähe der

Öffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernſtein ins Waſſer gibt, ſo bemerkt man, daß ſie anfangs in verticaler Richtung ſinken, in der Nähe der Öffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieſelbe einlenken und mit einander convergiren, die Öffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht ſeyn.

280. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in einem prismatiſchen Gefäße an der Oberfläche CD ſinkt, muß ſich zu der, mit welcher es durch die Öffnung EF fließt, verhalten, wie der Querſchnitt EF zum Querſchnitte CD; denn wenn das Waſſer in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen iſt, ſo muß das Volumen $CLMD$ dem durch EF in derſelben Zeit fließenden $ENOF$ gleich ſeyn, d. i. $CL.CD = EF.EN$ oder $CL:EN = EF:CD$, wo CL und EN die Geſchwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querſchnitte EF und CD, ſo läßt ſich aus der beobachteten Geſchwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieſes gewährt bei Verſuchen einen großen Vortheil, indem ſich der Raum, welchen das Waſſer in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man thut deßhalb wohl, wenn man das 278 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollſcale verſieht, bei Verſuchen das Sinken der Oberfläche CD beobachtet und hieraus die Geſchwindigkeit in EF berechnet.

281. Die Geſchwindigkeit des durch EF (Fig. 123) fließenden Waſſers wird, wenn die Öffnung gegen die Weite des Gefäßes ſehr klein iſt, ſo groß ſeyn, als wenn es von der Höhe CA herabgefallen wäre; denn unter dieſer Vorausſetzung läßt ſich die Maſſe $ABDC$ durch ein kleines Zeittheilchen als völlig ruhig anſehen, ſo daß das Theilchen $EGHF$ nicht blos wenig ſeiner Schwere, ſondern vermöge des Druckes der verticalen Waſſerſäule $EIKF$ ſinkt. Heißt x die Beſchleunigung durch $EIKF$, g die Beſchleunigung des Theilchens $EGHF$ durch ſeine Schwere; ſo wird

$x:g = EIKF:EGHF$; aber $EIKF:EGHF = EI:EG$, mithin

$$x:g = EI, EG: \text{ und } x = g.\frac{EI}{EG},$$

daher für die Geſchwindigkeit c

$$c = \sqrt{2g.\frac{EI}{EG}.EG} = \sqrt{2g.EI} = \sqrt{2g.AC}.$$

Um dieſen Satz mit der Erfahrung zu vergleichen, ließ Boſſut durch eine kreisrunde Öffnung von 1 Zoll Durchmeſſer, die an dem Boden eines mit Waſſer angefüllten Gefäßes angebracht war, Waſſer

auslaufen, und beſtimmte die Menge, welche in einer gewiſſen Zeit abfloß. Er fand bei

einer Druckhöhe von	1 Fuß	die Waſſermenge	2722	Kubikzoll
—	2	—	3846	—
—	4	—	5435	—
—	8	—	7662	—
—	9	—	8135	—

Da ſich die Waſſermengen wie die Geſchwindigkeiten verhalten müſſen und dieſe, der Theorie nach, der Quadratwurzel der Druckhöhen proportionirt ſind; ſo iſt es ein Leichtes, beide mit einander zu vergleichen, um ſich zu überzeugen, daß ihre Übereinſtimmung ſo groß iſt, als man in derlei Fällen nur wünſchen kann.

282. Da die Höhe der Waſſerſäule während des Ausfluſſes beſtändig abnimmt, wenn nicht neues Waſſer zufließt; ſo muß die Bewegung des ausſtrömenden Waſſers eine gleichförmig verzögerte ſeyn. Hierauf beruhen die Waſſeruhren, deren ſich die Alten zu Zeitmeſſern bedienten. Wenn aber das abfließende Waſſer beſtändig durch neuen Zufluß erſetzt und immer gleich hoch über der Öffnung erhalten wird; ſo muß die Geſchwindigkeit beim Ausſtrömen immer dieſelbe bleiben. Dieſes beſtätigt die Erfahrung dadurch, daß ſie zeigt, die Menge des ausgefloſſenen Waſſers ſey der Dauer des Ausfluſſes proportionirt.

283. Die abſolute Menge Q des in einer gewiſſen Zeit abgelaufenen Waſſers ſollte dem Volumen nach gleich ſeyn dem Producte aus der Fläche B der Öffnung, in die Zeit T des Ausfluſſes und in die Geſchwindigkeit C, welche das abfließende Waſſer hat; weil offenbar in einer Zeiteinheit ein Waſſerkörper abfließt, der die Geſchwindigkeit des Waſſers zur Höhe und die Fläche der Öffnung zur Baſis hat. Alſo wäre $Q = BCT$. Heißt die Höhe der Waſſerſäule über der Öffnung A, ſo wird

$$C = \sqrt{2g \cdot A} \text{ und } Q = BT\sqrt{2g \cdot A}.$$

Mit den aus dieſer Formel abgeleiteten Reſultaten ſtimmt aber die Erfahrung nicht überein, indem Verſuche eine viel geringere Waſſermenge geben, als die Rechnung zeigt. Die unmittelbare Urſache dieſer Abweichung liegt in dem Umſtande, daß nicht alle Theile des ausſtrömenden Waſſerkörpers eine, dem Geſetze 281 gemäße Geſchwindigkeit haben. Beſonders bleiben jene zurück, die zunächſt am Rande der Öffnung liegen, weil ſie ſich von den Wänden der Öffnung losreißen müſſen, ferner weil ſich das Waſſer auch von den Seiten nach der Öffnung hinbewegt und dadurch eine Ablenkung

der Theile von ihrer verticalen Richtung, mithin eine Zuſammenziehung des Strahles bewirket. Von der Wirklichkeit einer ſolchen Zuſammenziehung überzeugt man ſich am leichteſten, wenn der Boden, an welchem die Öffnung angebracht wurde, ziemlich dünn iſt; denn da hat der Strahl recht augenſcheinlich die Geſtalt eines umgekehrten abgekürzten Kegels, deſſen Seiten etwas einwärts gekrümmt ſind. Meſſungen von Boſſut geben den Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahls 0.66, die von Venturi 0.63, und die von Eytelwein 0.64 vom Inhalte der Öffnung an. Nach letzterem verhält ſich daher der Durchmeſſer einer kreisförmigen Ausflußöffnung zum Durchmeſſer des zuſammengezogenen Strahles wie 5:4. Übrigens gilt dieſe Zuſammenziehung des Strahles nur für Ausflußöffnungen an einem dünnen Boden, ja ſelbſt hierauf hat die Größe der Öffnung und die Druckhöhe einen kleinen Einfluß. Eine ganz andere und zwar eine kleinere Zuſammenziehung erhält man, wenn der Boden ſelbſt dick, oder wenn an die Öffnung eine kurze cylindriſche oder coniſche, nach Auswärts ſich erweiternde Röhre angeſetzt wird. Hat letztere Röhre die Geſtalt des zuſammengezogenen Strahles, ſo verſchwindet die Zuſammenziehung ganz und es kann nur mehr die Adhäſion des Waſſers an die Wände auf die Verminderung der Geſchwindigkeit einwirken.

284. Wiewohl man durch alle dieſe Betrachtungen noch nicht in den Stand geſetzt iſt, die Ausflußmenge theoretiſch genau zu beſtimmen; ſo ſieht man doch ein, daß ſich dieſe Menge der theoretiſch beſtimmten deſto mehr nähern wird, je kleiner die Adhäſion und je geringer die Zuſammenziehung des Strahles iſt. Da der Erfahrung gemäß erſtere bei größerer Wärme kleiner iſt, ſo erſieht man, daß auch die Ausflußmenge mit der Wärme wachſen muß, wie Gerſtner (Gilb. Ann. 5. 160) durch Erfahrungen darthat. Die wirkliche Waſſermenge kann aber immer nur aus Verſuchen abgeleitet werden. Heißt man die berechnete Menge q, die bei Verſuchen gefundene q', ſo erhält man, der Erfahrung gemäß, für eine Öffnung

an einer dünnen Wand	$q' = 0.61q, \quad = \frac{5}{8}q$
mit einem cylindriſchen Rohre	$q' = 0.6125\,q = \frac{13}{16}q$
„ „ coniſchen „	$q' = 0.9672\,q = \frac{30}{34}q$
oder im erſten Falle	$q' = \frac{5}{8}\,BT\sqrt{2g}\,.\,A$
„ „ zweiten „	$q' = \frac{13}{16}\,BT\sqrt{2g}\,.\,A$
„ „ dritten „	$q' = \frac{30}{31}\,BT\sqrt{2g}\,.\,A$

Auf die Vermehrung der Ausflußmenge durch einen coniſchen Anſatz hat der Luftdruck einen weſentlichen Einfluß. Iſt *A* (Fig. 123*) der Waſſerbehälter, *abcd* die Anſatzröhre; ſo ſucht der Waſſerdruck in dem Querſchnitte *ab* und *cd* dieſelbe Geſchwindigkeit zu erzeugen. Aber durch die größere Öffnung *cd* fließt in einer Zeiteinheit mehr Waſſer als durch *ab* und es würde demnach zwiſchen *ab* und *cd* ein leerer Raum entſtehen, wenn nicht der Luftdruck ein ſchnelleres Nachfließen durch *ab* bewirkte und ſo die Ausflußmenge vermehrte. Daß dieſes ſo ſey, erkennt man beſonders gut, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichteten ins Waſſer reichenden Anſatz *e* anbringt; denn da ſieht man, daß das Waſſer in demſelben aufgeſaugt wird.

285. Iſt die Ausflußöffnung *EF* (Fig. 124) an der Seitenwand des Gefäßes angebracht; ſo haben die Waſſertheile, die in verſchiedenen, horizontalen Schichten liegen, abgeſehen von den 283 erwähnten Einflüſſen, ſchon wegen ihrer verſchiedenen Tiefe unter *CD* eine verſchiedene Geſchwindigkeit. Iſt die Öffnung gegen ihre Tiefe unter *CD* klein, ſo kann man die Entfernung ihres Schwerpunctes *G* von der Oberfläche der Flüſſigkeit *CD* für die mittlere Höhe anſehen und die Geſchwindigkeit darnach berechnen. Es muß aber die ſo gefundene Geſchwindigkeit durch dieſelben Coefficienten corrigirt werden, wie in 284 mit *q* geſchehen iſt.

286. Die Bewegung eines Waſſerſtrahls, der aus einer Seitenwand hervorfließt, iſt mit der eines ſchweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Waſſer horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb iſt die Bahn eines ſolchen Strahls eine Parabel.

287. Iſt die ganze Seitenwand *ABCD* (Fig. 125) eines Gefäßes offen und der Nachfluß des Waſſers von der Art, daß das Gefäß beſtändig voll bleibt; ſo findet man die Ausflußmenge des Waſſers auf folgende Weiſe: Man denke ſich von jedem Puncte der *AC* eine horizontale Linie, welche die Geſchwindigkeit des Waſſers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Öffnung ausdrückt, und verbinde die Endpuncte dieſer Linien. Auf gleiche Weiſe wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Öffnung entſpricht, und man wird eine krumme Fläche *AGKB* erhalten, in welcher alle Endpuncte der Linien liegen, welche die Geſchwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieſer Fläche wird paraboliſch ſeyn. Denn es ſey *CG* die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Horizontalen *CD*, *EH* die in *EF*; ſo iſt

$CG = \sqrt{2g \,.\, AC}$, $EH = \sqrt{2g \,.\, AE}$, mithin $CG : EH = \sqrt{AC} : \sqrt{AE}$. Dieſes deutet an, daß *AHG* eine Parabel ſey, und da dieſes für jeden Punct in *CD* und *EF* gilt, ſo muß auch *AGKB* die genannte Krümmung haben. Hiernach iſt man im Stande, den Waſſerkörper *ACGKDB* zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch *ABCD* fließt; denn es iſt $ACG = \frac{2}{3} AC \,.\, CG$, daher $ACGKDB = \frac{2}{3} AC \,.\, CG \,.\, CD = \frac{2}{3} AC \,.\, CD \sqrt{2g \,.\, AC}$. Mithin in der Zeit *T* die Ausflußmenge $q = \frac{2}{3} T \,.\, AC \,.\, CD \,.\, \sqrt{2g \,.\, AC}$.

288. Waſſer, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, ſoll mit einer Geſchwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterſchiede des Waſſerſpiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entſpricht. Aber da es nebſt dem Widerſtande, den es beim Austritt aus dem Behälter erfährt, noch einen anderen durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältniſſe des Durchmeſſers der Röhren und im geraden ihrer Länge ſteht, überdieß auch noch von der Geſchwindigkeit des Waſſers abhängt und wie das Quadrat derſelben wächſt; ſo fällt dieſe Geſchwindigkeit viel kleiner aus, beſonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard, haben dieſe Geſchwindigkeit durch Verſuche und Rechnung auszumitteln geſucht. Unter dieſen hat vorzüglich der letztere den Fall berückſichtiget, wo eine Flüſſigkeit durch ſehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß das Reſultat verſchieden ausfalle, je nachdem die Flüſſigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüſſigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, ſobald der Druck bis zu einer gewiſſen Größe vermindert worden iſt, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geſchwindigkeit verſchiedener Flüſſigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, iſt auch ſelbſt bei einerlei Druck verſchieden und wird durch Temperaturerhöhung ſehr bedeutend vergrößert. Bei einem Verſuche floß Waſſer von nahe 100° *C.* aus einer Glasröhre beinahe viermal ſchneller ab, als ſolches, deſſen Temperatur nahe an 0° *C.* war.

289. Iſt die Ausflußöffnung in einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, ſo ſoll das Waſſer mit einer Geſchwindigkeit hervorſpringen, welche von der Höhe der drückenden Waſſerſäule abhängt, und bis zur Oberfläche des Waſſers im Behälter emporſpringen. Weil aber dieſe Geſchwindigkeit theils durch die Adhäſion an die Ränder der Öffnung, theils durch die Seitenbewegung der Waſſertheile,

ſogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; ſo bleibt der hervorſpringende Strahl ſtark unter dieſer Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hinderniſſe vermindert, um ſo höher wird der Strahl ſteigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb iſt die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindriſchen Röhre, als wenn ſie an einer dünnen Platte angebracht iſt, höher, wenn der Strahl etwas von der verticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporſteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Waſſerhöhe ein gewiſſes Maß der Öffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht.

290. Der Druck, den fließendes Waſſer auf das Gefäß ausübt, iſt geringer, als er unter übrigens gleichen Umſtänden während des Gleichgewichtes wäre. Daher geſchieht es, daß in einer Waſſermaſſe, welche ſchnell aufgehalten wird, plötzlich eine größere Spannung und hieraus ein vermehrter Druck entſteht. Hierauf beruht der ſogenannte **Stoßheber**.

Der **Stoßheber** (Fig. 126) beſteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre *AA*, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Waſſergefäße *B* in Verbindung ſteht, am anderen Ende aber ſich in einen Heronsball *C* mittelſt einer Klappe *a* mündet, die ſich vom Inneren der Röhre nach Außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballs hat ſie ein zweites, einwärts ſich öffnendes Ventil *b*, das ſich durch ſein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Waſſer vom Behälter in die Röhre tritt und ſie anfüllt, ſtoßt es an die letztgenannte Klappe und ſchließt ſie; dadurch verwandelt ſich der hydrauliſche Druck in einen hydroſtatiſchen, und das Waſſer wird in den Stand geſetzt, die Klappe am Heronsball zu öffnen, hineinzudringen und die Luft daſelbſt zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsball geht daher wieder zurück und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, beſonders von der äußeren unterſtützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fängt an in die Höhe zu ſpringen u. ſ. f.

291. Trifft fließendes Waſſer einen ruhenden, feſten Körper, ſo übt es einen Stoß auf ihn aus, deſſen Größe ſich beſtimmen läßt. Erfolgt der Stoß nach einer auf die Stoßfläche ſenkrechten Richtung, ſo wird er durch den Druck einer Waſſerſäule gemeſſen, deren Baſis der Stoßfläche gleich, und deren Höhe ſo groß iſt, wie diejenige, welche durch ihren Druck die Geſchwindigkeit zu erzeu-

gen vermag, die dem anſtoßenden Waſſer zukommt. Heißt demnach die Größe der Stoßfläche A, die Geſchwindigkeit des Waſſers c, die Acceleration der Schwere g; ſo iſt die Höhe, in welcher jene Geſchwindigkeit erlangt wird $= \frac{c^2}{2g}$ und die Größe des Stoßes $= \frac{Ac^2}{2g}$. Einen ſchiefen Stoß kann man nach 264 behandeln. Iſt die Stoßfläche viel größer als der anſtoßende Waſſerſtrahl, ſo fließt das Waſſer ſchon in einiger Entfernung vor der Stoßfläche auf einer krummen Bahn ab, und der ſenkrechte Stoß iſt nahe doppelt ſo groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf dieſen Geſetzen beruht die Theorie der unterſchlächtigen Waſſerräder, die Form der Brückenpfeiler ꝛc. — Mehr hierüber in hydrauliſchen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eytelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin, 1824. *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1818.

B. Wellenbewegung.

292. Wellen zeigen ſich in tropfbaren Flüſſigkeiten als Erhöhungen und Vertiefungen, wovon jene über der Horizontalebene der ruhenden Oberfläche liegen und Wellenberge heißen, dieſe hingegen unter derſelben, und Wellenthäler genannt werden. Iſt AC (Fig. 127) eine horizontale Linie, ſo iſt ADB ein Durchſchnitt eines Wellenberges, BEC der eines Wellenthals, und wenn die Welle längs AC fortſchreitet, AD der Hintertheil, DB der Vordertheil des Wellenberges, BE der Hintertheil, EC der Vordertheil des Wellenthals. C iſt der Anfangspunct, A der Endpunct der Welle. Die Entfernung des höchſten Punctes des Wellenberges von der Horizontalen heißt die Höhe des Wellenberges; die Entfernung des tiefſten Punctes des Wellenthals von derſelben Horizontalen heißt die Tiefe des Wellenthals; die Summe $DF + GE$ aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals gibt die Höhe der ganzen Welle. AB heißt die Breite des Wellenberges, BC die des Wellenthals, AC die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar ſtetig in einander über, es iſt aber die Krümmung eines Wellenberges

mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vordertheil eines Wellenberges iſt mit ſeinem Hintertheile gleich geſtaltet, wie man am beſten ſieht, wenn man in einem mit Queckſilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt und mit der Richtung ihres Fortſchreitens parallel eine mit Mehl beſtaubte Schiefertafel hineinſetzt, damit die Welle den Staub wegnehme und ſich gleichſam ſelbſt abbilde. Die Wellen erſtrecken ſich in ſehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Waſſers über einem ſchlammigen Grunde erſieht, wenn es Wellen ſchlägt.

293. Wellen entſtehen, wenn das Gleichgewicht einer Flüſſigkeit theilweiſe oder ungleichförmig aufgehoben wird. So erregt der Wind, der längs des Waſſers hinſtreicht, durch bloße Reibung kleine Wellen, größere, wenn ſeine Richtung ſchief iſt gegen das Waſſer. Auf gleiche Weiſe werden Wellen erregt, wenn man einen ſchweren Körper in eine tropfbare Flüſſigkeit fallen läßt, oder mittelſt einer Röhre durch Saugen einen Theil derſelben plötzlich herauszieht, wohl auch, indem man eine Flüſſigkeit durch Stoßen erſchüttert. Unter dieſen Erregungsmitteln ſind die letzteren zur Unterſuchung der Geſetze der Wellenbewegung die wichtigſten, weil da die entſtandenen Wellen ſich ſelbſt überlaſſen bleiben und nicht durch den Einfluß fremder Kräfte geſtört werden.

294. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Waſſer fallen, ſo bildet ſich, gleich nach dem Eindringen desſelben, an der getroffenen Stelle, eine kleine Vertiefung und rings um dieſelbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieſer theilt ſich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach Außen fortgeht und eine kreisförmige, ſich beſtändig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunct der getroffene Punct iſt, während der andere nach Innen fortſchreitet und die im Mittelpuncte der Welle befindliche Flüſſigkeit in die Höhe treibt. Der ſo aufwärts getriebene Theil ſinkt wieder zurück und ſpielt dabei dieſelbe Rolle, wie das zuerſt hineingeworfene Steinchen, und ſo kommt es, daß bei hinreichend tiefem Waſſer und einer bedeutenden Fallhöhe des hineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufſteigen des Waſſers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder ſeine eigene, aber immer ſchwächere Welle erregt. Iſt das Waſſer um den Mittelpunct der Welle ruhig geworden, ſo bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinſte Welle auch noch wie obiger Wall während ihres Fortſchreitens neue Wellen erregt; denn man ſieht an der Stelle, wel-

che ſie verlaſſen hat, immer wieder eine kleinere Welle entſtehen, die aber nur nach Außen fortſchreitet. Durch dieſe Rückwirkung der Wellen muß offenbar jede durch die ihr zunächſt vorausgehende verſtärkt werden. Bei genauerer Aufmerkſamkeit zeigt die Erfahrung ſelbſt vor der zuerſt entſtandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentriſche, größere und ſchwächere Wellen, bei denen es den Anſchein hat, als wären ſie durch ein ſtoßweiße immer ſtärker werdendes Ausweichen des Waſſers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Geſagten ſieht man, daß ein momentaner Stoß mehrere Wellen erregt.

295. Die auf genannte Weiſe erzeugten Wellen erweitern ſich beſtändig und bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt; ja ſelbſt ſolche Wellen, die beim Entſtehen eine von der Kreisform abweichende Geſtalt haben, nähern ſich dieſer beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortſchreiten auf einen in der Flüſſigkeit ſchwimmenden Körper; ſo hebt und ſenkt ſie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortſchreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Waſſer erregt werden, ſchreitet der Mittelpunct mit der dem Waſſer eigenen Geſchwindigkeit vorwärts, ohne Störung der Wellenbewegung, wie man leicht ſieht, wenn man ein Stück Holz in ſolches Waſſer wirft; denn dieſes bleibt ſtets im Centrum der von ihm erregten Wellen und wird dabei ſtromabwärts getragen. Läßt man in einem ſchmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entſtehen, ſo können ſie nur die Geſtalt eines Kreisbogens von beſtimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes entſtandenen Wellen verengen ſich immer mehr und laufen in der Mitte desſelben zuſammen. Unter allen dieſen Umſtänden ſchreitet jeder Punct einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt dieſe Richtung für jeden Punct mit dem Radius des Kreiſes zuſammen, der von dieſem Punct aus gezogen iſt. Beim Fortſchreiten iſt der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthals im Sinken, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthals im Steigen begriffen. Im Sinken des Vordertheils des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortſchreiten bewirkt wird.

296. Die Geſchwindigkeit der Wellen wächſt, nach dem Zeugniſſe der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin

auch mit der Größe und Geſchwindigkeit der ſie durch Stoß erzeugenden Maſſe, weil dieſe die Breite und Höhe derſelben beſtimmt. Eine Änderung im ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeit zeigt auf die Geſchwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß, Verminderung der Tiefe der Flüſſigkeit vermindert die Geſchwindigkeit der Wellen, jedoch bei verſchiedenen Flüſſigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demſelben Verhältniſſe. Hieraus erklärt es ſich, warum Wellen, die ſich ſtets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langſamer werden; warum bei Wellen, die ſich ſtets verengen, das Gegentheil Statt findet; warum ſolche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall iſt und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, ſtets mit derſelben Geſchwindigkeit fortgehen. Letztere ſind daher beſonders geeignet zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Wellenbewegung, und auch von den Brüdern Weber, denen wir die meiſte Aufklärung hierüber ſchuldig ſind, dazu benützt worden.

297. Die genaueſte Kenntniß der Wellenbewegung erwirbt man ſich, wenn man ſich über die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, mit denen ſie verbunden iſt, unterrichtet. Um dieſe Bewegung auf dem Erfahrungswege auszumitteln, bedienten ſich die genannten Schriftſteller eines rechtwinkeligen, ſchmalen, aber tiefen und langen Gefäßes mit gläſernen Seitenwänden, das ſie Wellenrinne nannten, füllten es mit Flußwaſſer, das viele feſte Theile von einerlei ſpecifiſchem Gewichte mit dem Waſſer, ſchwebend in ſich enthielt, erregten darin Wellen und beobachteten dann die Bahnen der feſten Theile in der Vorausſetzung, daß dieſe mit denen der Flüſſigkeit an derſelben Stelle einerlei ſeyen. Auf dieſe Weiſe fanden ſie: 1) Daß ſich an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüſſigkeit die Geſtalt einer Welle annimmt, die Theilchen in Bahnen bewegen, die in einer verticalen Ebene liegen, und entweder in ſich zurückkehren oder nicht, je nachdem die auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler gleich geſtaltet ſind oder nicht. Im erſten Falle ſind die Bahnen elliptiſch. Iſt z. B. A (Fig. 128) ein ſolches Theilchen, Ax eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortſchreiten, ſo macht es im erſten Falle den Weg $ACBDA$, im zweiten den Weg $ACB'D'$. Während A den ober Ax liegenden Theil der Bahn beſchreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, während es den unterhalb derſelben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es iſt daher der verticale Durchmeſſer dieſer

Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung ſucceſſiv; ſo wie dieſes geſchieht, ſchreitet auch die Welle fort und es ſind nie mehrere ſolche Theilchen, deren Bahnen ſich ſchneiden, zugleich in entſprechenden Puncten derſelben, weßhalb auch nie zwei derſelben zuſammenſtoßen können. 3) Während ein Theilchen der Flüſſigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, ſchreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts. Es gehen daher ſo viele Wellen durch den Raum, wo ſich das Theilchen bewegt, als die Zahl der Umläufe desſelben beträgt. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen ſeine ganze Bahn einmal zurücklegt, beſtimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die genannte, ſchwingende Bewegung der Theilchen erſtreckt ſich bis zu einer ſehr großen Tiefe und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmeſſer deſto kleiner iſt, je tiefer ein Theilchen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmeſſer den verticalen deſto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt iſt. In ſehr großen Tiefen haben dieſe Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht ſo geſchwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in eine ſchwingende Bewegung verſetzt wurde, wiederholt ſeine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit. Dem hier Erklärten gemäß iſt die ſchwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen und eine Welle ſelbſt iſt nur die Geſtalt, welche die Flüſſigkeit an ihrer Oberfläche vermög dieſer Bewegung annimmt. Demnach ſchreitet ein und derſelbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüſſigkeit fort, ohne die Flüſſigkeit mit ſich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten ſich hinter einander in ihrer Form, ohne daß ſie in einander übergehen.

Fig. 129 ſtellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daſelbſt befindlichen Theile *a b c d e f* in der Richtung des beigeſetzten Pfeiles beſchreiben. Wir wollen uns jedes dieſer Theilchen zu einer Zeit denken, wo das erſte *a* bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und ſich wieder in *a* befindet, das letzte *f* aber gerade ſeine Bewegung beginnt. Da iſt nun *b* nach *b'*, *c* nach *c'*, *d* nach *d'*, *e* nach *e'* ge-

kommen und die Flüſſigkeit hat die Geſtalt der Curve $a\,b'\,c'\,d'\,e'\,f$ annehmen müſſen.

298. Von der Bewegung der Flüſſigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle iſt diejenige verſchieden, welche den Theilchen bei der Entſtehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt iſt, bezieht ſich auf den Fall, wo man aus einer flüſſigen Maſſe mittelſt einer Röhre plötzlich eine Säule von beſtimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es beſteht in Folgendem: Es erſtreckt ſich die Verſchiebung der Theilchen ſcheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten ſtark ab. Die Richtung der Theilchen iſt nach Verhältniß der Lage und Entfernung vom Entſtehungsorte der Bewegung ſehr verſchieden; die in einer verticalen Linie unter dieſer Stelle liegenden Theilchen bewegen ſich ſenkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengeſetzter Richtung; die ſeitwärts und tiefer liegenden haben eine ſchiefe Bewegung gegen den Urſprung der Bewegung hin; bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt und zwar deſto mehr, je näher ſie der Oberfläche liegen.

299. Wenn zwei Wellen einander begegnen und ſich durchkreuzen, ſo entſteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, deſſen Höhe faſt der Summe beider gleich iſt. Dasſelbe erfolgt mit zwei ſich durchkreuzenden Wellenthälern. Hiervon überzeugt man ſich, wenn man in der Wellenrinne (297) an den entgegengeſetzten Enden zwei Wellen im Queckſilber erregt und den bei der Durchkreuzung entſtandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelſt einer beſtaubten Schiefertafel ſich (nach 292) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen ſich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander ſo, daß es den Anſchein hat, als wären die Wellen ungeſtört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben ſo großen Wellenberge einer anderen Welle zuſammen, ſo heben ſich beide an der Durchkreuzungsſtelle auf.

Eine recht artige Erſcheinung bringt die Durchkreuzung der Wellen hervor, die man im Queckſilber an zwei einander nahen Stellen *a* und *b* mittelſt hineinfallender Tropfen erregt und welche ſich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verſtärken. Sowohl die Stellen, wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperboliſch gekrümmten Linien. Fig. 130 ſtellt die Erſcheinung vor (man erkennt die Streifen, wo ſich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verſtärken, wenn man ſchief auf die Figur hinſieht).

300. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen; ſo findet man, daß ſich die elliptiſchen Bahnen, welche ſie vor der Durchkreuzung beſchrieben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchſten Puncte eines durch Durchkreuzung entſtandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber ſchief gegen dieſen Punct hin gerichtet ſeyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei zwei Wellenthälern abwärts; dieſe geradlinige Bahn iſt immer größer als der verticale Durchmeſſer der vor der Durchkreuzung beſtehenden, elliptiſchen Bahnen. Bei der Durchkreuzung ſcheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen ſich aber die Wellen mit derſelben Geſchwindigkeit fort, als hätten ſie ſich nicht durchkreuzet.

301. Wenn eine Welle eine feſte Wand trifft, ſo wird ſie reflectirt. Der einfachſte Fall dieſes Phänomens iſt der, wo eine kreisförmige, allenthalben gleich hohe und gleich breite Welle eine Wand ſenkrecht trifft, d. i. ſo daß die auf dem zuerſt anſtoßenden Puncte errichtete Normale zugleich auf der Wand ſenkrecht ſteht. In dieſem Falle entſteht durch Reflexion eine neue Welle, die ſich von der directen dadurch unterſcheidet, daß ſie gegen die Wand concav iſt und daher ihren Mittelpunct jenſeits derſelben hat, wenn die auffallende gegen dieſelbe convex war, mithin ihren Mittelpunct dieſſeits der Wand hatte. Wenn eine kreisförmige Welle ſchief an eine Wand anſtoßt; ſo kann man, falls ſie nach der Reflexion ihre Kreisform beibehält, die Lage der reflectirten Welle nach dem Geſetze finden, daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ſey; verliert aber die Welle bei der Reflexion ihre Kreisform, ſo wird nach dieſem Geſetze die Lage der reflectirten Welle nur beiläufig richtig beſtimmt.

Man kann ſich vom ganzen Hergange der Sache beim ſenkrechten Stoß einer Welle eine deutliche Vorſtellung machen, wenn man ſich die Welle *abcde* (Fig. 131 *α*) denkt, die an das Hinderniß *AB* ſenkrecht anſtoßt. Nach Verlauf eines Zeittheilchens nach dem Beginne des Stoßes, in welchem die Welle einen Weg $\frac{ac}{2} = \frac{ce}{2}$ zurückgelegt hat, iſt *cd* an die Stelle von *de* gekommen und *de* hat ſich in einen von *AB* weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch iſt *cd* auf das Doppelte an Höhe gewachſen, hat aber um eben ſo viel an Breite abgenommen, wie *β* zeigt. Nach einer doppelt ſo langen Zeit iſt *c* in *e* angelangt, ſo daß von der Welle nur *abc* (*γ*) vorhan-

den wäre, wenn keine Reflexion erfolgte; aber es hat ſich zugleich der Wellenberg *cde* (α) in einen von *AB* weggehenden *cda* (γ) verwandelt; *abc* u. *cda* heben einander auf und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüſſigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer iſt *ab* in die Lage von *bd* gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück *bc* ſo, daß dadurch das Wellenthal doppelt ſo tief und nur halb ſo breit wird, und das Ganze wie die Zeichnung in δ ausſieht. Endlich nach Verlauf von 4 ſolchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage *abcde* (ε), und die Richtung des beigeſetzten Pfeiles. — Wenn man in ein cylindriſches Gefäß reines Queckſilber gibt, und durch einen feinen Trichter noch mehr davon nahe am Rande des Gefäßes zufließen läßt; ſo kann man deutlich ſehen, wie ſich in der Nähe des entgegengeſetzten Randes durch Zuſammentreffen reflectirter Wellen gleichſam ein zweiter Wellenmittelpunct bildet.

302. Bei der Reflexion einer Welle erleiden die Bahnen der Flüſſigkeitstheilchen dieſelbe Änderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (300), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Koſten der horizontalen verſtärkt, ſo daß die elliptiſchen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

303. Wenn eine Welle an eine Wand mit einer Öffnung anſtößt, ſo erleidet ſie eine eigene Modification, welche **Beugung** genannt wird. Iſt *AB* (Fig. 132) eine Öffnung in einem Brete, *a* der Mittelpunct einer kreisförmigen Welle; ſo wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Öffnung trifft, ſich erweitern, als wäre die Welle gar nicht unterbrochen; dasſelbe thut auch der Theil *AB*, welcher durch die Öffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieſer Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortſchreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, ſondern ſich gegen die Wände zu Kreisbögen *bc* und *de* **umbeugen**, deren Mittelpuncte in *A* und *B* liegen. Dieſe Bögen unterhalten ſtets die Verbindung zwiſchen dem Theile der Welle vor und hinter der Öffnung.

Die durch Beugung entſtandenen, kreisförmigen Wellen *bc* und *de* kreuzen ſich bei ihrer Erweiterung und verſtärken ſich an einigen Stellen, ſchwächen ſich an anderen oder heben ſich gar auf. Die auf einerlei Art entſtandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann ſowohl dieſes, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich ſehen, wenn man ein etwa ½ Zoll dickes, mit einer Öffnung verſehenes Bret in Queckſilber taucht, und in dieſes regelmäßig Queckſilbertropfen fallen läßt. Die Erſcheinung hat völlige Ähnlichkeit mit Fig. 130.

304. In die Reihe der Beugungsphänomene gehören auch die Wirbel, welche ſich bilden, wenn Waſſer an ein Bret anſtoßt, aber zu beiden Seiten desſelben vorbeifließen kann. Dieſe Wirbel (Fig. 133) ſind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet und können ſich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verſchlingen.

305. Wenn man in einem regelmäßigen Gefäße in gewiſſen Zeitabſchnitten gleich breite Wellen erregt, ſo können die directen Wellenthäler den reflectirten und eben ſo die directen Wellenberge den zurückgeworfenen mit faſt gleicher Kraft begegnen, ſich an ſymmetriſch angeordneten Stellen mehrfach durchkreuzen, und ſo gleichweit von einander abſtehende Wellenthäler und Wellenberge bilden, die wegen der entgegengeſetzten Richtung der ſich begegnenden Wellen nicht mehr von einem Orte zum anderen fortrücken, ſondern von denen ſich immer nur ein Berg in ein Thal verwandelt und umgekehrt. Die Grenzen zwiſchen beiden fallen daher immer an dieſelbe Stelle und heißen Schwingungsknoten. Dieſe Schwingung iſt daher von der vorhin betrachteten zu unterſcheiden und kann füglich ſtehende Schwingung genannt werden, während die vorige den Namen der fortſchreitenden verdient. Ein Beiſpiel einer ſolchen ſtehenden Schwingung kann man im Queckſilber ſehen, das ſich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in deſſen Mitte man tactmäßig einen Körper ſenkrecht eintaucht und wieder herauszieht.

Um vom Entſtehen der ſtehenden Schwingung eine deutliche Vorſtellung zu bekommen, denke man ſich *AB* (Fig. 134) als die Länge eines ſchmalen, mit Waſſer gefüllten Kaſtens, und zugleich als den Durchſchnitt der Oberfläche des ruhenden Waſſers mit einer verticalen Ebene. Es werde in *A* eine Welle erregt, die gegen *B* fortſchreitet und eine der Länge des Gefäßes gleiche Breite hat. So wie ſie ganz gebildet iſt und in *B* anlangt, folgt ihr eine zweite eben ſo beſchaffene, dieſer auf gleiche Weiſe eine dritte, u. ſ. w. Iſt *t* die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Breite gleich iſt; ſo hat ſich die erſte Welle mit ihrem Wellenberge *cdB* und ihrem Wellenthal *Abc* nach 4 *t* ganz gebildet und trifft am Ende dieſer Zeit mit dem Endpuncte *B* die Wand des Gefäßes. Nach 5 *t* hat der Wellenberg die halbe Breite durch ſein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, ſo, daß nun dieſer halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden iſt (*α*). Nach 6 *t* füllt der zurückkehrende, reflectirte

Wellenberg das Wellenthal *Abc* ganz aus und bildet an ſeiner Stelle eine ebene Fläche, es iſt aber von der zweiten Welle der ganze Berg gebildet (β). Nach 7 *t* gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der erſten Welle mit dem directen der zweiten einen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der erſten Welle hat die halbe Breite eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengeſetzten Seite befindet ſich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 8 *t* hat ſich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der erſten Welle, und der reflectirte Wellenberg der erſten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar ſich aufhebt, ſo beſteht in dieſem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüſſigkeit (δ). Nach 9 *t* hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Breite verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieſer Welle gibt zunächſt an jenem mit dem reflectirten Wellenthal der erſten Welle ein doppelt ſo tiefes Wellenthal und an dieſes ſchließt ſich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der erſten Welle eine doppelte Höhe erlangt, ſo daß nun die vorhandenen Wellen ganz ſymmetriſch angeordnet ſind (ε). Nach 10 *t* ſind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgezogen und nehmen neben einander die ganze Länge des Gefäßes ein, zugleich fällt in eines dieſer Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüſſigkeit wieder eben, wie in δ (ξ). Nach 11 *t* hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Breite verloren, daran ſchließt ſich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der erſten reflectirten Welle mit dem halben Thal der directen dritten an, ſo daß nun wieder die Wellenform ganz ſymmetriſch iſt und eine der ε entgegengeſetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß ſich immer nur die drei Formen ε, ξ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg mit einem Wellenthal wechſelt, ohne fortzuſchreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften beſteht, wovon beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen ſind. — Hätten die Wellen nicht die Länge des ganzen Gefäßes, ſondern nur die eines aliquoten Theiles desſelben, ſo entſtänden mehrere Schwingungsknoten; man kann ſich aber die Sache auf gleiche Weiſe deutlich machen, wie vorhin geſchehen iſt. (Als Hauptquelle hierüber iſt anzuſehen: Wellenlehre, auf Experimente gegründet von Ernſt und Wilh. Weber. Leipzig, 1825.)

Viertes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper (Aërodynamik).

306. Die Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Flüſſigkeiten ſind den für tropfbare Körper aufgeſtellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch ſchwieriger zu entwickeln als dieſe und minder leicht einer populären Darſtellung fähig. Strömt ein Gas aus einer Öffnung, welche in einer dünnen Wand ſeines Behälters angebracht iſt, in einen luftleeren Raum heraus; ſo wird ſeine Geſchwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterſchiede, daß die Höhe der flüſſigen Säule, welche (nach dem Ausdrucke 281) dieſer Geſchwindigkeit zukommt, nicht die der wirklichen Gasſäule iſt, ſondern diejenige, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmaſſe auf die Dichte reducirte, welche ſie an der Ausflußöffnung hat. Strömte z. B. atmoſphäriſche Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; ſo müßte man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerſtand b, die Dichte D des Queckſilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, ſo iſt $d:D=b:x$ und daher $x=\frac{Db}{d}$. Die Geſchwindigkeit, mit welcher die Luft ausſtrömt, wird daher ſeyn $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Dieſe Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeſchwindigkeit in den leeren Raum für jedes andere Gas an, deſſen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b ſteht. Es verhält ſich daher dieſe Geſchwindigkeit bei verſchiedenen Gaſen verkehrt, wie die Quadratwurzel ihrer Dichte. Deßhalb ſtrömt Waſſerſtoffgas, als das leichteſte, mit der größten Geſchwindigkeit aus. Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinſtrömt, läßt ſich nicht auf ſo einfache Weiſe beſtimmen. Indeß kann man doch die Druckhöhe, welche nach obiger Formel die Geſchwindigkeit gibt, als die Differenz der Druckhöhen anſehen, deren eine dem ausſtrömenden Gaſe, die andere demjenigen entſpricht, in welches jenes hineinſtrömt.

307. Wenn man die Reſultate dieſer Berechnungen mit den Ergebniſſen directer Verſuche vergleicht, wie ſie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuiſſon (*Ann. de Ch.* 34. 380) u. a. angeſtellt haben; ſo findet man, daß jene eine viel größere Geſchwindigkeit geben als dieſe. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geſchwindigkeit nur 0.52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht iſt, wächſt aber auf 0.6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen, cylindriſchen Röhre vertauſcht. Eine coniſche Röhre gibt eine noch größere Geſchwindigkeit; die größte eine ſolche, deren äußere Durchmeſſer ſich wie 1:2 verhalten und deren Länge den Durchmeſſer fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Urſache dieſer Differenz zwiſchen der berechneten und der durch Verſuche gefundenen Geſchwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zuſammenziehung des Luftſtrahles, welche der des Waſſerſtrahles (283) ähnlich iſt. D'Aubuiſſon hat den Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0.65, bei einer cylindriſchen Anſatzröhre = 0.93, bei einer coniſchen = 0.95 von dem Querſchnitte der Öffnung gefunden.

308. Auch die Bewegung der Gaſe in Röhrenleitungen ſtimmt mit der des Waſſers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gaſen Verſuche hierüber angeſtellt (*Mém. de l'Acad.* 5. 383) und dabei gefunden, daß atmoſphäriſche Luft und Kohlenwaſſerſtoffgas ungeachtet ihrer verſchiedenen Dichte ſich in Röhren nach demſelben Geſetze bewegen und denſelben Widerſtand erleiden, und daß dieſer Widerſtand dem Quadrate ihrer mittleren Geſchwindigkeit proportionirt iſt. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, ſtehen im geraden Verhältniſſe mit dem Druck, den ſie im Glasbehälter erleiden und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren.

309. Wenn Luft aus einem Gefäße ausſtrömt, ſo ſucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberſtehende Wand dieſelbe fortzubewegen. Iſt das Gefäß leicht nach der Richtung dieſes Druckes beweglich, ſo kann man ſich auch durch die wirklich eintretende Bewegung vom Daſeyn eines ſolchen Druckes überzeugen. Das Zurückſtoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der ſogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen ꝛc., beruht darauf.

310. Die Urſache, welche in einer Luftmaſſe eine Bewegung erzeugt, iſt Änderung der Expanſivkraft, die ſelbſt wieder durch eine Änderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in Kaminen, bei Feuersbrünſten, der beſtändige Luftwechſel in unſeren Zimmern zur Winterszeit ꝛc. ꝛc.

311. Wenn verdichtete Luft aus einer Öffnung ausſtrömt und einen gegenüberſtehenden Körper trifft; ſo ſollte man wohl erwarten, daß dieſer vom Luftſtrome fortgeſtoßen würde. Dieſes iſt auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei ſtehenden Röhre erfolgt; iſt aber die Ausflußöffnung an einer breiten Wand angebracht wie in Fig. 135, an der eine leichte Platte befindlich iſt, von einem Durchmeſſer, welcher den der Öffnung weit übertrifft; ſo wird dieſe Platte zwar anfangs von der Öffnung weggetrieben, aber in einer gewiſſen Entfernung ſchwebend und oft ſogar zitternd erhalten, ja wenn man dieſe Entfernung abſichtlich vermehrt, ſogar angezogen. Dieſe Erſcheinung hat einen gleichen Grund mit der Vermehrung der Ausflußmenge eines Gaſes durch eine coniſche Anſatzröhre (284). Auch da fließt durch die ringförmige Öffnung mehr Luft ab, als durch die enge Öffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwiſchen der Wandöffnung und der Platte entſtehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieſes Herganges überzeugt man ſich mittelſt des Apparates (Fig. 136), wo die Ausflußröhre *A* ſeitwärts eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre *a* zur Beſtimmung der etwaigen Änderung des Luftdruckes und die Deckelplatte *B* eine eben ſolche *b* zu demſelben Zwecke hat, überdies ſind aber noch an der Wand *C*, längs welcher die ausſtrömende Luft hinſtreicht, drei in Waſſer reichende Röhren angebracht. Beim Ausſtrömen von Luft zeigt die Bewegung des Queckſilbers in *a* und *b*, daß innerhalb dieſer Röhre der Luftdruck größer iſt als auswärts, aber in den Röhren *c*, *d*, *e* ſteigt das Waſſer und zwar in *c* mehr als in *d*, in *d* mehr als in *e* zum Beweiſe, daß zwiſchen den Platten der Druck kleiner als von Außen ſey.

Hieher gehört auch die merkwürdige Erſcheinung, welche man mit dem Apparate (Fig. 137) hervorbringt. Dieſer Apparat beſtehet aus einer weiten Röhre *AB*, an deren einem Ende eine enge, am anderen eine viel weitere Röhre angeſetzt iſt, während unten eine heberförmige,

Queckſilber enthaltende Röhre angebracht iſt. Bläſt man durch die weitere Anſatzröhre in das Stück *A*, ſo ſteigt das Queckſilber im äußeren Heberſchenkel zum Beweiſe, daß der Luftdruck in *A* vermehrt iſt; thut man dieſes durch die engere Röhre, ſo ſteigt das Queckſilber des Hebers und der Luftdruck in *A* erſcheint verringert. (Schweigg. J. 53. 304. Pogg. Ann. 15. 310.)

312. Der Stoß, welchen die Luft auf ein Hinderniß ausübt, iſt im Allgemeinen wie jener des Waſſers (291) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß man es mit einer ausdehnſamen Flüſſigkeit zu thun habe, die beim Anſtoßen verdichtet wird und ſich hierauf wieder ausdehnt, und ſowohl in dieſem als in jenem Falle gleich einem elaſtiſchen Körper auf den geſtoßenen Körper wirkt. Indeß iſt man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unſeren theoretiſchen Unterſuchungen nicht abzuleiten im Stande iſt. Auf dem Geſetze des Luftſtoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windſtöße auszuhalten haben ꝛc. ꝛc.

Fünftes Kapitel.

Geſetze der ſchallenden Bewegungen. (Akuſtik.)

A. Vom Schalle überhaupt.

313. Es gibt Bewegungen, durch welche das den bewegten Körper umgebende Mittel in fortſchreitende Schwingungen verſetzt wird, die, wenn ſie ein geſundes Gehörorgan treffen, in demſelben die Empfindung eines Schalles erzeugen. Demnach iſt zur Entſtehung eines Schalles ein bewegter (ſchallender) Körper, ein deſſen Bewegung fortpflanzendes Mittel und ein geſundes Gehörorgan nothwendig.

314. Als ſchallender Körper kann jeder auftreten, der das umgebende Mittel ſchnell und ſtark genug erſchüttert. Daher kann ein Inſect durch ſchnellen Schlag der Flügel, ein Stab oder eine Peitſche, die ſchnell genug durch die Luft fährt, eine Luftmaſſe,

die angezündet werden kann und dabei ein Product von viel kleinerem Volumen liefert, wie z. B. Knallgas, einen Schall erregen. Vorzüglich ſind aber dazu jene Körper geeignet, die vermöge ihrer Elaſticität durch Streichen, Kneipen, Schlagen ꝛc. in eine ſchwingende Bewegung gerathen.

315. Es gibt keine beſtimmte, allgemein giltige Grenze der Schwingungszahlen, innerhalb welcher das Ohr einen Schall wahrnimmt und außerhalb welcher dieſe Wahrnehmbarkeit aufhört. Für einzelne Individuen kann man dieſe Grenzen wohl ausmitteln. Man nimmt zu dieſem Ende einen elaſtiſchen Stab von Eiſen oder Meſſing, der ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll breit, $\frac{1}{2}$ Linie dick und ſo lang iſt, daß er in zählbare Schwingungen gerathen kann, ſpannt ihn an einem Ende in einen Schraubſtock ein, ſchlägt am anderen daran uud zählt die Schwingungen, die er in einer Secunde macht. Verkürzt man ihn nun ſo lange, bis er einen wahrnehmbaren Ton gibt; ſo kann man mit Hilfe des mathematiſch erwieſenen Satzes, daß ſich die Anzahl der Schwingungen verkehrt wie die Quadrate der Längen verhalte, die Anzahl ſeiner Schwingungen berechnen, wenn man ſie auch nicht mehr ſehen kann. Noch beſſer führt ein Inſtrument zum Ziele, welches der Erfinder Cagniard-Latour Sirene genannt hat und das in Fig. 138 vorgeſtellt iſt. Es beſteht aus einer Röhre, die ſich mit einer kreisförmigen Platte endiget, in welcher in einem Kreiſe herum mehrere feine Spalten angebracht ſind, ſo daß die Luft, die man in die Röhre bläſt, durch dieſelben entweichen kann. Auf jener Platte befindet ſich eine andere, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abſtehenden Löchern, welche auf die der erſteren Platte paſſen. Dieſe Platte läßt ſich auf jener mit beliebiger Geſchwindigkeit um ihre Axe drehen und während einer Umdrehung fällt jede ihrer Öffnungen einmal auf jede Öffnung der Spalte der Bodenplatte ſo, daß die Luft während einer ſolchen Umdrehung ſo oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zuſammenfallen. Kennt man die Anzahl der Umdrehungen dieſer Platte während einer Secunde, ſo kann man leicht berechnen, wie oft innerhalb dieſer Zeit die Luft aus dem Rohre hervorbricht und die äußere Luft in Bewegung ſetzt. Steigert man demnach die Umdrehungsgeſchwindigkeit, bis man einen Schall vernimmt, ſo kann man auch die dabei Statt findende Anzahl der Schwingungen beſtimmen. Man findet, daß die hörbare Anzahl der Schwingungen für Menſchen von gewöhnlichem

Gehör nicht geringer als 32 in einer Secunde ſey, manche Menſchen nehmen aber ſchon bei 30 und wenigeren Schwingungen einen Schall wahr, ja wenn einmal ein Schall vernehmbar iſt, ſo kann die Schwingungszahl ſich weit unter 32 vermindern und man wird ihn bei gehöriger Aufmerkſamkeit doch noch immer wahrnehmen können. Für die größte Anzahl der Schwingungen, bei welchen noch ein wahrnehmbarer Schall entſteht, nimmt Chladni 12000, Biot 8192, Young 18000 — 20000 an, aber Savart hat gezeigt, daß man, wenn man dafür ſorgt, daß die Töne beim Höherwerden nicht zu ſehr an Intenſität abnehmen, ſelbſt bei 48000 Schwingungen noch einen Schall vernimmt. (Savart in Zeitſch. 9. 116. *Ann. de Chim.* 47. 69.)

316. Das gewöhnliche Fortpflanzungsmittel des Schalles iſt die atmoſphäriſche Luft; es ſind aber alle Körper, ſie mögen feſt oder tropfbar ſeyn, ja ſogar die Dünſte dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erſcheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am anderen Ende eine Uhr berührt, ſo hört man ihren Gang beſſer als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheuere Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Waſſer zuſammengeſchlagen werden, hört man in demſelben und außerhalb desſelben; Fiſche folgen dem Schalle einer Glocke, die ſich außer dem Waſſer befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläſernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelſt eines feinen Fadens auf, ſo hört man ſeinen Klang recht vernehmlich durch die Dünſte.

317. Der eigenthümliche Character eines Schalles wird durch ſein Quantitatives und durch ſein Qualitatives beſtimmt. Seine Qualität läßt ſich nicht beſchreiben, ſie iſt das, wodurch ſich z. B. eine Menſchenſtimme von dem Schalle eines muſikaliſchen Inſtrumentes, ja ſelbſt der Schall eines Inſtrumentes von dem eines anderen unterſcheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch paſſender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht ſich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas in ſeinen Theilen gleichartiges erſcheint, heißt gewöhnlich ein Klang, ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang ein Ton. Man ſagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton, ein Waſſerfall macht ein Geräuſch. Töne, die zuſammen angenehm klingen, heißen conſonirende, diejenigen, welche zuſammen unangenehm klingen,

diſſonirende. Das Zugleichſeyn mehrerer wohlklingender Töne heißt ein Accord, eine Folge von Accorden Harmonie, eine wohlklingende Folge einzelner Töne hingegen eine Melodie. Ein Klang wird meiſtens nur durch Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt, eine bloße Erſchütterung oder eine Folge von Stößen iſt ſelten ſo regelmäßig, um in die Schwingungen des fortpflanzenden Mittels jene Übereinſtimmung zu bringen, die das Entſtehen eines Klanges fordert; darum werden ſchnell und hinreichend ſtark ſchwingende Körper auch vorzugsweiſe als klingende Körper angeſehen.

B. Fortpflanzung des Schalles.

318. Jeder ſchallende Körper wirkt durch ſeine Bewegung auf alle jene, die mit ihm in Berührung ſtehen. Er erzeugt in denſelben durch jeden Stoß eine Verdichtung und unmittelbar darauf eine Verdünnung, beide rücken gleichförmig vorwärts und ſo kommt es, daß ſie bis zu unſerem Gehörorgane gelangen und in demſelben die Schallempfindung erregen. Der Grund dieſer Fortpflanzung liegt in der Elaſticität oder Ausdehnſamkeit der Materie und erfolgt daher dem Weſen nach, in allen Körpern, welche die eine oder die andere dieſer Eigenſchaften beſitzen, auf gleiche Weiſe. Darum wird eine nähere Betrachtung des inneren Verlaufs bei der Schallfortpflanzung in der Luft, als Erläuterung dieſer Fortpflanzung in jedem anderen Körper angeſehen werden können.

319. Man denke ſich eine gleichförmig dichte, cylindriſche Luftſäule AB (Fig. 139), an deren Ende A ſich ein ſchallender Körper befindet, nehme an, daß in einem, auf der Axe der Röhre ſenkrechten Querſchnitte alle Lufttheilchen zugleich in denſelben Zuſtand verſetzt werden, ſo daß man von jedem ſolchen Querſchnitte nur ein Theilchen zu betrachten braucht und von dieſem auf alle andere ſchließen kann, ferner, daß ſich die der Öffnung A zugekehrte Fläche des ſchallenden Körpers in ihrem natürlichen Zuſtande in cc', bei der größten Excurſion aber in bb' und aa' befinde, die Bewegung desſelben beginne aber von aa' aus. So wie nun dieſer Körper über aa' hinaustritt und auf die Luftſäule ſtoßt, verdichtet er das zunächſt an ihm liegende Lufttheilchen, dieſes thut dasſelbe mit dem zweiten, das zweite mit dem dritten u. ſ. f.; zugleich theilt er dieſen Theilchen eine ihrer Verdichtung proportionirte Geſchwindig-

keit nach der Richtung ſeiner Bewegung mit. Bliebe nun auch die bewegte Fläche in ihrer dermaligen Lage, ſo müßte die Verdichtung der Lufttheilchen gleichförmig weiter rücken und immer neue Theilchen treffen, ſo wie ſich der Stoß in einer Reihe elaſtiſcher, einander berührender Kugeln fortpflanzt. Dieſes Fortſchreiten kann aber nur nach der Richtung *AB* erfolgen, wiewohl die verdichteten Theile nach allen Seiten einen gleichen Druck ausüben; denn ſeitwärts werden ſie durch die Wände des Cylinders gehindert und rückwärts kann ſich die Verdichtung nicht fortpflanzen, weil die Tendenz der Theilchen, vermöge ihrer Verdichtung nach rückwärts zu gehen, durch die ihnen ſchon mitgetheilte Geſchwindigkeit nach vorwärts aufgehoben wird. So wie die ſchallende Fläche noch weiter über *aa'* hinausrückt, wiederholt ſie die vorige Wirkung, ertheilt den ihm anliegenden, bereits wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen abermals eine Verdichtung, welche ſich auch, wenn dieſe Bewegung des ſchallenden Körpers unmittelbar auf die vorhergehende folgt, an die erſte verdichtete Schichte unmittelbar anſchließt und mit ihr fortrückt. Dieſes geht ſo fort, bis die genannte Fläche in *bb'* anlangt, wo ihre Geſchwindigkeit zu Ende iſt. Dieſe ganze verdichtete Luftſäule, welche durch die Excurſion von *aa'* bis *bb'* entſtanden iſt, vertritt die Stelle der bewegten Fläche und erzeugt vor ſich eine eben ſo lange zweite verdichtete Schichte, dieſe eine dritte u. ſ. f. Beim Zurückgehen der Fläche von *bb'* nach *aa'* entſteht eine verdünnte, eben ſo lange Luftſäule, wie die verdichtete war, und dieſe fällt auf denſelben Platz, den vorher die verdichtete einnahm; ſie pflanzt ſich nach derſelben Richtung fort, wie die verdichtete Säule und entfernt ſich demnach immer mehr vom ſchallenden Körper, wiewohl die Lufttheilchen eine entgegengeſetzte Richtung haben und ſich gegen den ſchallenden Körper hin bewegen. Auf ſolche Weiſe erzeugt jede Schwingung des ſchallenden Körpers in der Luft eine verdichtete und eine eben ſo lange verdünnte Säule, wovon ſich jene unmittelbar an dieſe anſchließt, und in ſie übergeht. Beide zuſammen machen eine Schallwelle aus. Die Länge beider Stücke zuſammengenommen heißt auch die Länge der Schallwelle. Der verdichtete Theil dieſer Schallwelle hat an ſeinen beiden Enden die natürliche, in der Mitte aber die größte Dichte, ſo daß dieſe gegen beide Enden zu immer kleiner wird; eben ſo haben die Theile dieſes Wellenſtückes (nicht die Welle ſelbſt) an beiden Enden die kleinſte, in der Mitte die größte Geſchwindigkeit. Auf gleiche Weiſe

haben die verdünnten Theile der Welle in der Mitte die kleinſte Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geſchwindigkeit, an beiden Enden natürliche Dichte (keine Verdünnung) und die kleinſte Geſchwindigkeit. Dieſes kommt daher, weil der bewegte Körper, von deſſen Bewegung die Verdichtung, Verdünnung und die Geſchwindigkeit der Theile abhängt, in aa' und bb' die kleinſte ($= o$), in cc' aber die größte Geſchwindigkeit hat. Die abſolute Länge einer Schallwelle in der Luft hängt von der ſpecifiſchen Expanſivkraft der Luft und von der Schnelligkeit der Bewegungen des ſchallenden Körpers ab. Sie iſt überhaupt um die ganze Excurſion des ſchallenden Körpers kleiner, als der Weg, den der Schall während einer Schwingung oder eines Stoßes des ſchallenden Körpers zurücklegt, kann aber ohne Fehler dieſem Wege gleichgeſetzt werden, weil jene Größe gegen dieſen Weg verſchwindend klein iſt.

320. Was in einer cylindriſchen Luftſäule vorgeht, dasſelbe muß auch in freier Luft, die einen ſchallenden Körper rings umgibt, Statt finden. Ein ſolcher Körper erregt nämlich rings um ſich eine Verdichtung und Verdünnung; dieſe ſchreitet, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beſchaffenheit iſt, allenthalben nach der normalen Richtung gleich ſchnell fort, und ſo entſtehen Wellen, wovon die erſte eine ganze Kugel vorſtellt, in deren Centrum der ſchallende Körper gedacht werden kann, er mag was immer für eine Geſtalt haben. Jede Seitenbewegung wird durch den Widerſtand der in gleichem Zuſtande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen unmöglich gemacht. Die folgenden Wellen, welche aus dem Fortſchreiten jener entſtehen, bilden hohle concentriſche Kugelſchalen, deren jede ſelbſt wieder aus zwei concentriſchen Theilen beſteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt iſt. Die Dicke einer ſolchen Schale iſt hier die Länge der Schallwelle. Dieſe ändert ſich während ihrer Erweiterung nicht, ſondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung und Verdichtung ab. Wenn man ſich in einer ſolchen Welle eine concentriſche Kugelfläche denkt, ſo ſind in ihr alle Theile in demſelben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derſelben ſeitwärts ausweichen und eben ſo wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwärts übrig und jedes Theilchen pflanzt ſeine Bewegung nach einer normalen Richtung, d. i. bei Kugelwellen nach der Richtung eines Halbmeſſers der Kugel fort. Dieſe Richtung gibt uns diejenige an, von wel-

cher der Schall kommt, weil die Lufttheilchen, durch deren Bewegung die Welle entſteht, nach dieſer Richtung das Ohr treffen. Man nennt die Richtung, in welcher ſich die Bewegung der Theile des Schallmittels fortpflanzt, einen Schallſtrahl.

321. Wenn an mehreren Stellen zugleich Schallwellen erregt werden, ſo pflanzen ſie ſich unabhängig von einander fort. Treffen ſie irgendwo zuſammen, ſo durchkreuzen ſie ſich und ſetzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten ſie ſich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsſtelle wirken ſie auf einander ein und verſtärken oder ſchwächen ſich oder heben ſich daſelbſt gar auf, je nachdem ſich die Theile der ſich ſchneidenden Wellenſtücke nach derſelben oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen. Hieraus wird begreiflich, wie man mehrere Laute zugleich hören kann.

322. Erfahrungen über die Fortpflanzung des Schalles in der Luft macht man am beſten Nachts, mittelſt Abfeuern von Kanonen, indem man die Zeit mißt vom Augenblicke, wo man das Licht aus einer gemeſſenen Entfernung ſieht bis zu dem, wo man den Schall hört, und ſie mit der Entfernung vom Orte der Exploſion vergleicht. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueſte Rückſicht zu nehmen, weil man aus theoretiſchen Gründen weiß, daß dieſe einen Einfluß auf die Geſchwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Solche Verſuche hat man ſchon in der zweiten Hälfte des ſiebzehnten Jahrhundertes unternommen und ſie von dieſer Zeit bis auf unſere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer manches zu wünſchen übrig, beſonders weil man nie im Stande war, Reſultate zu erhalten, die vom Einfluſſe des Windes ganz frei waren. Die in dieſer Hinſicht genügendſten Verſuche ſind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitſch. 1, 213.) und anderen angeſtellt wurden, weil man an jedem Endpuncte einer genau gemeſſenen Linie in demſelben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterſcheinung bis zum Vernehmen des Schalls an beiden Stationen beobachtete und ſo auf einmal zwei Reſultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von dieſem Einfluſſe nahe frei angeſehen werden konnte. Es ergab ſich daraus, daß der Schall bei einer Temperatur von 0° *C.* und in ganz trockener atmoſphäriſcher Luft in gleichför-

miger Bewegung in einer Secunde 332.244 Meter oder nahe 1050 W. F. zurücklegt. (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115.) Dieſe Geſchwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umſtänden zu, man mag ſeine Ausbreitung nach oben oder nach horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inſt. B. 7.) angeſtellten Verſuchen hatten die beiden Standpuncte der Beobachter einen Höhenunterſchied von 4198 P. F. und doch fand man ein dem vorigen ſehr nahes Reſultat. (333.2 Meter.) Auch der reflectirte Schall hat nach Gregory's Verſuchen (Zeitſch. 1. 215) mit dem directen einerlei Geſchwindigkeit. Der Wind beſchleunigt ihn nach desſelben Verſuchen um ſeine eigene Geſchwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben ſo viel, wenn er ihm entgegenkommt. In feuchter Luft bewegt ſich der Schall ſchneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel geſetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem ſie die ſpecifiſche Expanſivkraft, von der allein die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit abhängt, modificirt. Die Höhe oder Tiefe und die Stärke des Schalles haben auf ſeine Fortpflanzungsgeſchwindigkeit keinen Einfluß.

323. Durch feſte und tropfbare Körper geht die Fortpflanzung des Schalles dem Weſen nach eben ſo, aber ſchneller vor ſich, wie durch die atmoſphäriſche Luft. Biot fand ſie in einer eiſernen Röhre $10\frac{1}{2}$mal ſchneller. Chladni fand durch ein ſehr ſinnreiches Mittel die Geſchwindigkeit des Schalles im Zinn $7\frac{1}{2}$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, in gebranntem Thon 10—12mal, in verſchiedenen Hölzern 11—17mal ſchneller als in der atmoſphäriſchen Luft. Colladon und Sturm fanden die Geſchwindigkeit des Schalles im Waſſer des Genfer Sees durch directe Verſuche bei 8°.1 *C.*, gleich 1435 M., alſo über 4mal größer als in der Luft. Man hat auch die Geſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gaſen unterſucht und das Geſetz beſtätiget gefunden, daß ſie ſich nach der ſpecifiſchen Expanſivkraft derſelben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° *C.* in einer Secunde im Sauerſtoffgas 317.17 Meter, im Waſſerſtoffgas 1269.5 M., im Kohlenſäuregas 261.6 M., im Kohlenoxydgas 387.4 M., im Stickſtoffoxydgas 261.9 M., im Öhlgas 314 M. zurücklege. (Zeitſch. 6. 502.)

324. Die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft hat zuerſt Newton aus theoretiſchen Gründen abzuleiten geſucht und dafür

den Ausdruck $\sqrt{Hg}$ gefunden, wo H die Höhe bedeutet, welche die Atmoſphäre haben würde, wenn ſie durchaus die Dichte hätte, welche ſie an der Oberfläche der Erde hat, und g die Geſchwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der erſten Secunde. Dieſe Formel gibt eine Geſchwindigkeit von 279.29 Meter, alſo nahe um $\frac{1}{6}$ weniger, als wirkliche Verſuche. Die Urſache dieſes Unterſchiedes liegt, wie Laplace zuerſt bemerkt hat, darin, daß man bei der Deduction dieſer Formel nicht darauf Rückſicht genommen hat, daß ſich die Luft bei der Verdichtung erwärme, alſo eine größere Expanſivkraft bekomme und ſich beim Verdünnen erkalte, mithin eine geringere Expanſivkraft erlange. Da nun die beſchleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterſchiede der Expanſivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expanſivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt und dieſer Unterſchied bei der verdichteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; ſo iſt die Richtigkeit der Laplace'ſchen Behauptung wohl außer Zweifel geſetzt. Es gibt auch die darnach corrigirte Formel ein mit der Erfahrung ſehr nahe übereinſtimmendes Reſultat (332.8 Meter).

Laplace hat auch ein Mittel angegeben, durch welches man die Geſchwindigkeit des Schalles in jedem Körper leicht finden kann, welches ſo lautet: Iſt das Fortpflanzungsmittel ein feſter Körper, ſo unterſuche man, um wie viel ſich ein 1 Meter langer Stab von dieſer Materie verlängert, wenn er an einem Ende befeſtigt und am anderen durch ein Gewicht in die Länge gezogen wird, das ſeinem eigenen Gewichte gleich iſt. Iſt das Fortpflanzungsmittel flüſſig, ſo meſſe man die Verminderung einer 1 Meter langen, horizontalen Säule, die ſie erleidet, wenn ſie durch ein dem ihrigen gleiches Gewicht zuſammengedrückt wird. Dividirt man durch dieſe Größe das Maß der Schwere g, ſo gibt die Quadratwurzel des Quotienten die Geſchwindigkeit des Schalles im betreffenden Körper in Metern. — Tralles hat den Beweis dieſes Satzes folgendermaßen gegeben: Bekanntlich iſt die theoretiſche Formel für die Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft $= \sqrt{Hg}$. Wäre nun ein Kubikfuß atmoſphäriſcher Luft einem Drucke unterworfen, welcher der Höhe H entſpricht, und es würde dieſer Druck um eine Einheit vermehrt; ſo müßte der gegebene Kubikfuß um den Raum S zuſammengedrückt werden, ſo daß man hätte $1 - S : 1 = H : H + 1$, woraus folgt

$$H = \frac{1}{S} - 1 = \frac{1 - S}{S} = \frac{1}{S},$$

wenn δ gegen 1 ſehr klein iſt. Dieſer Werth in obiger Formel ſubſtituirt, gibt die Geſchwindigkeit $= \sqrt{\frac{g}{S}}$. (Gilb. Ann. 57. 234; 65. 43.)

325. Die Fortpflanzung des Schalles erfolgt dem Vorhergehenden gemäß durch den Stoß des ſchallenden Körpers auf das ihn umgebende Mittel und durch den eines Theils dieſes Mittels auf den daran grenzenden. Wenn daher der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen will, ſo üben auch die Theile des erſten auf das zweite eine Wirkung aus, die nach den Geſetzen des Stoßes elaſtiſcher Körper (262) vor ſich geht. Darum wird zwar die Schallwelle in das neue Mittel eindringen, ein Theil davon wird aber in das alte zurückkehren, d. i. reflectirt werden. Die Intenſität des reflectirten und durchgelaſſenen Strahles hängt von der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in beiden Mitteln ab. Trifft die Schallwelle die Trennungsfläche der beiden Mittel ſenkrecht, d. i. ſo, daß der Halbmeſſer zu dem zuerſt anſtoßenden Puncte auf ihr perpendiculär iſt, ſo kehrt die reflectirte Welle nach der entgegengeſetzten Richtung zurück, oder der auffallende und der reflectirte Schallſtrahl haben genau entgegengeſetzte Richtungen; fällt aber die Welle ſchief auf, ſo macht der reflectirte Schallſtrahl mit der Trennungsfläche denſelben Winkel, welchen der einfallende mit ihr macht, aber nach der anderen Seite. Man überzeugt ſich davon am leichteſten mittelſt zweier Hohlſpiegel. Stellt man ſie nämlich in einige Entfernung gegen einander und es ſpricht Jemand in dem Brennpuncte des einen, ſo kann ihn einer, der ſein Ohr in dem Brennpuncte des anderen hat, ſehr genau hören, während alle, welche dem Sprecher näher aber außerhalb des Brennpunctes ſtehen, nichts vernehmen. Es werden alſo die Schallſtrahlen, welche auf den erſten Spiegel auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen ſo auf den zweiten Spiegel und erleiden daſelbſt wieder eine Reflexion, wodurch ſie in dem Brennpuncte desſelben vereinigt werden. Die Dienſte ſolcher Spiegel thun auch bloße Vertiefungen in Mauern, Höhlungen u. dgl. m., wenn auch nicht in ſo hohem Grade; daher findet man oft von ungefähr ſogenannte Sprachgewölbe. Von der Art war das ſogenannte Ohr des Dionyſius in den Steinbrüchen bei Syrakus. Aus dem Geſagten iſt begreiflich, daß nicht blos feſte, ſondern auch tropfbare und ausdehnſame Körper, wie z. B. Wolken, warme Luft u. ſ. w.,

den Schall reflectiren können. Davon überzeugte man ſich beſonders bei den Schallverſuchen in Frankreich, wo man bemerkte, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört werde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demſelben Orte wie das Rollen des Donners erſchien.

326. Iſt die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, ſo fällt der reflectirte Schall mit dem urſprünglichen zuſammen und bewirkt eine Verſtärkung desſelben; beträgt die Entfernung mehr, ſo kann durch die Reflexion der urſprüngliche Schall nicht blos verſtärkt, ſondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung beider wahrzunehmen iſt. Dieſes nennt man einen Nachhall. Iſt endlich die Entfernung ſo groß, daß der reflectirte Schall erſt dann zurückkommt, wenn ſich das Ohr vom erſten Schalle ſo erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich iſt; ſo vernimmt man den Schall doppelt und dieſe Erſcheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemäß das menſchliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterſcheiden kann; ſo muß ein Gegenſtand, der den letzten Laut eines zuſammenhängenden Schalles als Echo zurückſenden ſoll, $1050 : 18 = 58.3$ Fuß entfernt ſeyn. Beträgt dieſe Entfernung $58.3 \times 2 = 116.6$ F., ſo werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es iſt zweiſylbig; bei der Entfernung von $58.3 \times 3 = 174.9$ F. dreiſylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenſtände, wovon einer ein einſylbiges, der andere ein zweiſylbiges, der dritte ein dreiſylbiges Echo hervorbringt; ſo entſteht ein zweifaches oder dreifaches Echo.

Ein Echo mag wohl im Freien ſehr ergötzen, in Hörſälen, Theatern ꝛc. iſt es aber höchſt nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, iſt das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derſelben mit Zierathen, das Behängen mit Teppichen oder wenn die Wände hohl ſind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägeſpänen, ein wirkſames Mittel. Es gibt viele ſchon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein ſolches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Craſſus, ſoll den erſten Vers der Äneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwiſchen Coblenz und Bingen ſoll ein Wort ſiebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schloſſe Simonetta unweit Mailand gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung desſelben Lautes. Bei Verdun iſt ein zwölf- bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geſchloſſenen Räumen ſind mehrfache Echo keine Seltenheit.

C. Der Schall in Beziehung auf Höhe und Tiefe. (Tonlehre.)

327. Welcher von zwei Tönen höher oder tiefer ſey, das iſt in ſubjectiver Hinſicht blos Gegenſtand der Empfindung und daher keiner Erklärung fähig. Jeder Ton, mit dem man einen anderen in Rückſicht ſeiner Höhe vergleicht, heißt Grundton *(tonica)*, das Verhältniß der Töne zu einander ein Intervall oder Tonverhältniß. Ein Ton, der mit dem Grundtone ſo conſonirt, daß man beide kaum von einander unterſcheiden kann, heißt die Octave desſelben, weil man gewöhnlich zwiſchen dieſem und dem Grundtone 6 Töne einſchaltet, deren Aufeinanderfolge dem Ohre eine gewiſſe Befriedigung gewährt. Dieſe werden nach ihrem Abſtande vom Grundtone Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime genannt. Jeden der 7 Töne, vom Grundtone angefangen, pflegt man in Deutſchland mit Buchſtaben zu bezeichnen. Heißt der Grundton *C*, ſo nennt man die Secund *D*, die Terz *E*, die Quart *F*, die Quint *G*, die Sext *A*, die Septime *H*. Die Octave wird wieder *c* genannt und die folgenden Töne wieder wie vorhin, aber mit kleinen Buchſtaben, die Töne der wieder höheren, alſo zweiten Octave, werden durch dieſelben Buchſtaben mit darüber geſetztem Querſtriche bezeichnet, wie $\overline{c}$, $\overline{d}$ ꝛc., die Töne der noch höheren Octave mit zweimal überſtrichenen Buchſtaben u. ſ. f. Der tiefſte noch allgemein hörbare Ton heißt das 32füßige *C*, weil ihn eine offene Orgelpfeife von 32 Fuß Länge gibt.

328. Zwei auf einander folgende Stöße eines Körpers auf das Schallmittel, mithin vier Schwingungen des erſteren, erzeugen ſchon einen ausgehaltenen, mit anderen vergleichbaren Ton. Davon überzeugt man ſich, wenn man an die Zähne eines Rades einen dünnen Körper ſo anſtellt, daß er beim Drehen des Rades einen Stoß auf jeden Zahn ausüben muß. Dieſer Ton iſt deſto höher, in je kleineren Zwiſchenzeiten die Stöße auf einander folgen, d. h. je ſchneller der Körper ſchwingt. Dieſes lehrt derſelbe Apparat, wohl auch ein Verſuch mit der vorhin (315) beſchriebenen Syrene. (Zeitſch. 9. 116.) Denn es fällt da der Ton deſto höher aus, je ſchneller man die bewegliche Platte der Syrene dreht. Man kann ſich dieſelbe Überzeugung auch durch Saiten verſchaffen. Nimmt man nämlich ein Monochord, d. i. ein Inſtrument, das aus einem Kaſten von dünnem elaſtiſchen Holz beſteht, auf dem eine hin=

reichend lange, gleichförmig dicke Saite aufgeſpannt iſt, die man mit einem beweglichen Stege verkürzen kann, und man entlockt dieſer Saite bei verſchiedener Länge, aber derſelben Spannung und Dicke einen Ton; ſo findet man, daß dieſer deſto höher iſt, je mehr die Saite verkürzt wurde. Es läßt ſich aber die Anzahl der Schwingungen n, welche eine Saite in einer Zeitſecunde macht, ausdrücken durch $n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{p}{h\delta}}$ (a), wo l die Länge der Saite, h den Querſchnitt derſelben, p das ſpannende Gewicht und δ eine von der Dichte der Saite und von der Acceleration der Schwere abhängige Größe bedeutet. Dieſe Formel läßt ſich auch durch $n = \frac{Q}{l}$ (b) ausdrücken, wenn man $\frac{p}{h\delta} = Q^2$ ſetzt. Hier iſt offenbar n deſto größer, je kleiner l, mithin je höher der Ton iſt.

329. Iſt das Monochord gut eingerichtet, mit einer verticalen, gleichförmig dicken und dichten Saite verſehen, deren Länge ſich ſcharf beſtimmen läßt und die durch Gewichte geſpannt iſt; ſo laſſen ſich mittelſt deſſelben ſogar die Schwingungsverhältniſſe aller Töne, welche die Saite gibt, ausmitteln. Theilt man nämlich die Saite mittelſt eines Steges in zwei gleiche Theile, ſo gibt jeder Theil für ſich einen Ton, der die nächſt höhere Octave desjenigen iſt, welchen die ganze Saite gibt. Setzt man in (b) ſtatt l den Werth $\frac{1}{2}l$, ſo wird daraus $n = \frac{2Q}{l}$. Es iſt daher die Anzahl der Schwingungen für den Grundton nur halb ſo groß, als für ſeine nächſt höhere Octave, und man kann dieſe durch 2 ausdrücken, wenn jene $= 1$ geſetzt wird. Aus demſelben Grunde muß die zweite höhere Octave $4 = 2^2$, die dritte $8 = 2^3$, die $n$te $= 2^n$ ſeyn. Die erſte tiefere Octave iſt aus gleicher Urſache $= \frac{1}{2}$, die zweite $\frac{1}{4} = \frac{1}{2^2}$, die $n$te $= \frac{1}{2^n}$. Fährt man fort, die Saite des Monochords in 3, 4, 5, 6 gleiche Theile zu theilen, und vergleicht den Ton eines Stückes mit dem der ganzen Saite als dem Grundtone; ſo findet man, daß $\frac{2}{3}$ der ganzen Saite die Quinte, $\frac{3}{4}$ die Quarte, $\frac{4}{5}$ die große Terz, $\frac{3}{5}$ die Sext, $\frac{8}{9}$ die Secunde, $\frac{8}{15}$ die Septime des Grundtons geben. Sucht man wieder, wie vorhin, für jede dieſer Saitenlängen den Werth von n aus (b), und vergleicht ihn

mit dem dabei Statt findenden Tone; ſo erhält man folgende Schwingungszahlen für die ganze Octave:

Ton	*C*,	*D*,	*E*,	*F*,	*G*,	*A*,	*H*,	*c*
Schwingungszahl	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Um dieſe Reſultate zu erhalten, iſt beſonders Fiſcher's Monochord zu empfehlen (Zeitſch. 1. 184). Man erlangt ſie aber leichter und unmittelbar mittelſt der Syrene, ja man kann durch ſie gleich die abſolute Anzahl der Schwingungen, welche jedem einzelnen Tone entſpricht, erfahren. Unter den Tönen einer Octave conſoniren mit dem Grundtone am beſten die Octave und die Quinte, minder gut die Terz, Quart und Sext und noch ein neunter, in der Muſik gewöhnlicher Ton, der zwiſchen die Secunde und Terz fällt und kleine Terz heißt. Sein Schwingungsverhältniß iſt $\frac{6}{5}$.

Nach Fiſcher's ſorgfältigen Verſuchen (Abhandl. der Berlin. Akad. der Wiſſenſch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen des *a* als desjenigen Tones, den eine leere *a* Saite einer Violine gibt, in einer Secunde nach der Stimmung des Berliner Theaters 437, nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Feydeau 428 und nach dem italieniſchen Theater in Paris 424 Schwingungen. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefſten Männertone entſprechen 192, dem höchſten 633 Schwingungen, dem tiefſten Tone eines Frauenzimmers hingegen 576 ($1\frac{1}{2}$ Octaven höher), dem höchſten 1720 Oscillationen. Sobald über 16384 Schwingungen in einer Secunde gemacht werden, vernehmen wir keinen Ton mehr, ſondern nur eine Art Ziſchen. Die längſte Tonwelle in der Luft hat demnach 32 F., die kürzeſte 9 L.

330. Die unmittelbar innerhalb einer Octave auf einander folgenden Intervalle ſind nicht gleich groß; denn es gibt $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$; $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines ganzen großen Tones, das nächſt folgende $\frac{10}{9}$ das eines ganzen kleinen Tones, das zunächſt kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines großen halben Tones, und das kleinſte $\frac{25}{24}$ das eines kleinen halben Tones. Im Allgemeinen iſt daher das Intervall zwiſchen der Terz und Quart und zwiſchen der Septime und Octave das eines halben Tones; alle anderen betragen einen ganzen Ton.

331. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwiſchen dem Grundtone *C* und ſeiner Octave *c*

möglich ſind, ſpringt in die Augen; es reichen aber dieſe Töne auch nicht für die practiſche Muſik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann. Will man nicht *C*, ſondern einen anderen Ton, z. B. *G*, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortſchreiten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigſtens nicht ſehr ſtark, abweicht; ſo muß man zwiſchen *F* und *G* einen neuen Ton einſchalten; denn es wird bei dieſer Annahme *E* die Sext, *F* die Septime und *g* die Octave; *E* und *F* ſind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verſchieden und ſollen es um einen ganzen ſeyn, während *F* und *g* um einen ganzen Ton von einander abſtehen und es nur um einen halben ſollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man *F* um einen halben Ton erhöht, das iſt, ſeinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieſelbe Erhöhung muß man mit mehreren anderen Tönen vornehmen, wenn man *D, A, E, H* ꝛc. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundton annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von *C* liegt, wie z. B. *F*. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu ſeinem Namen *is*, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demſelben *es* ſetzt. So bezeichnen *cis*, *dis*, *fis* das erhöhte *c*, *d*, *f*; und *es*, *hes*, *ges* das vertiefte *e*, *h*, *g*. Durch Einſchaltung dieſer Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 22 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß angibt.

Name	Werth		Name	Werth	
c	1	1,00000	*ges*	$\frac{36}{25}$	1,44000
cis	$\frac{25}{24}$	1,04166	*g*	$\frac{3}{2}$	1,50000
des	$\frac{27}{25}$	1,08000	*gis*	$\frac{25}{16}$	1,56250
d	$\frac{9}{8}$	1,12500	*aes*	$\frac{8}{5}$	1,60000
dis	$\frac{75}{64}$	1,17187	*a*	$\frac{5}{3}$	1,66667
es	$\frac{6}{5}$	1,20000	*ais*	$\frac{125}{72}$	1,73611
e	$\frac{5}{4}$	1,25000	*hes*	$\frac{9}{5}$	1,80000
eis	$\frac{125}{96}$	1,30208	*h*	$\frac{15}{8}$	1,87500
fes	$\frac{32}{25}$	1,28000	*his*	$\frac{125}{64}$	1.95313
f	$\frac{4}{3}$	1,33333	*ces*	$\frac{48}{25}$	1.92000
fis	$\frac{25}{18}$	1,38889	*c*	2	2,00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung, der andere durch Vertiefung des nächſt höheren entſtanden iſt, wie z. B. *cis* und *des*, *fis* und *ges*, ſehr wenig von einander abweichen; ſo gibt man ihnen in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatiſche Tonleiter aus.

332. Wenn man auf irgend einem muſikaliſchen Inſtrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältniſſen von einem Tone zum anderen fortſchreitet und auch die kleinſten Unterſchiede, z. B. die zwiſchen *cis* und *des* nicht vernachläſſigt; ſo entfernt man ſich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältniſſe zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von *C* aus aufwärts gehen, ſo wäre der Werth der erſten reinen Quinte $G=\frac{3}{2}$, der zweiten $d=\frac{9}{4}$, der dritten $a=\frac{27}{8}$. Da *a* zugleich die Octave von der Sext *A* iſt, ſo müßte letzterer Ton ſich durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken laſſen, und es müßte dieſe Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältniſſe auch das gegen den Grundton rein ausfallen ſoll; es iſt aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$ und man hat ſich daher um dieſen Bruch, den man Comma nennt, vom reinen Verhältniſſe gegen *C* entfernt. Beim ferneren Fortſchreiten nach reinen Quinten häuft ſich dieſer Fehler noch mehr an. Iſt man durch 12 Quinten aufgeſtiegen, ſo kommt man auf die ſiebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die ſiebente Octave den Werth 2^7 hat, ſo beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein ſeyn können, bei erſteren aber die geringſte Abweichung vom reinen Verhältniſſe dem Ohre unerträglich wäre; ſo vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt ſie und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche ſeltener vorkommen. Jenes geſchieht bei der gleichſchwebenden, dieſes bei der ungleichſchwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht und es iſt für jedes muſikaliſche Inſtrument, es mag eine beſtimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth *n* einer Quinte bei der gleichſchwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1.49831$, welches vom wahren Werthe um $3/2 - 1.49831 = 0.00169$ verſchieden iſt.

D. Der Schall in Beziehung auf ſeine Stärke.

333. Die Intenſität des Schalles hängt, abgeſehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Größe des Stoßes ab, welchen diejenigen Theile des fortpflanzenden Körpers, die das Ohr treffen, auf dasſelbe ausüben, und von dem Zwiſchenraume, der einen Stoß vom anderen trennt. Daraus ergibt ſich, daß die Stärke des Schalles durch die Beſchaffenheit und Bewegung des ſchallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den ſchallenden Körper beſtimmt wird.

334. Je mehr Theile des ſchallenden Körpers zugleich ſchwingen, je ſchneller ſie dieſes thun und je größere Excurſionen ſie machen, deſto größer wird der Unterſchied zwiſchen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin deſto intenſiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel iſt, deſto mehr Intenſität erhält der Schall. Deßhalb verurſachen lange Peitſchen einen ſtärkeren Knall als kurze, deßhalb iſt der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Flinte; aus dieſem Grunde ſind hohe Töne und ſolche, die dicken Saiten entlockt werden, ſo ausgiebig; darum verſtärkt bei Streichinſtrumenten das Aufdrücken mit dem Bogen und das Streichen desſelben mit Kolophonium den Ton ſo ſehr. Conſtruirt man ein Rädchen mit vielen geradlinigen Speichen und bringt ihm zur Seite einen leichten Körper an, der beim Drehen des Rades an jede Speiche ſtoßt; ſo wird der dadurch erregte Schall deſto ſtärker, je weiter der ſtoßende Körper vom Mittelpuncte des Rades abſteht, mithin je mehr die einzelnen Stöße von einander getrennt ſind.

335. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel iſt und je weniger es den Stößen des ſchallenden Körpers ausweicht (je geringer ſeine ſpecifiſche Expanſivkraft iſt), deſto größer wird die Dichte des verdichteten und deſto kleiner die des verdünnten Wellentheiles, mithin deſto intenſiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge ſeiner Geſtalt den Wellen erlaubt, ſich zu erweitern und an Intenſität abzunehmen, deſto leichter erhält es den Schall bei ſeiner urſprünglichen Stärke. Je ſeltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, deſto mehr wird die bei jedem Wechſel des Mittels (325) Statt findende

Theilung der Welle verhütet und für die Erhaltung ihrer urſprünglichen Intenſität geſorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verſtärken oder ſchwächen, je nachdem er mit oder gegen denſelben geht. Hieraus erklären ſich: Die beſondere Schwäche des Schalles im Waſſerſtoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeſchlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn ſie in eine Drehbank eingeſpannt und ſchnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelſt eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindriſchen Röhre ſich fortpflanzen müſſen und ſich nicht erweitern können) noch recht gut hört; warum dieſes ein Stab beſſer thut, als ein unförmlicher Klotz; warum man ſich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräuſch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftſchichte zwiſchen ſich enthalten, mehr geſchwächt wird, als durch ein einziges doppelt ſo dickes Bret; warum Wolle, Sägeſpäne und alle Körper, die viele mit Luft erfüllte Zwiſchenräume haben, den Schall ſo ſehr ſchwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt iſt als bei Tage, auch beſſer gehört wird ꝛc.

336. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter ſie ſich vom ſchallenden Körper entfernen; ſo muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demſelben Verhältniſſe kleiner werden und es müſſen auch dieſer Theile wenigere ſeyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom ſchallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom ſchallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieſelbe Weiſe afficirt wird, wie dieſes z. B. bei einer explodirenden Knallgasblaſe der Fall iſt, ſo wird der Schall in gleichen Entfernungen von dieſem Körper ringsum gleich ſtark wahrgenommen; wird aber dieſes Mittel an einigen Stellen ſtärker, als an anderen afficirt, ſo muß es rings um den ſchallenden Körper ſelbſt bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall ſtärker erſcheint als an anderen. Einen merkwürdigen Beleg dieſer Behauptung lieferten die Gebrüder Weber durch Entdeckung der Thatſache, daß man den Ton einer Stimmgabel, in der Richtung, in welcher die Zinken derſelben ſchwingen, und in der darauf ſenkrechten recht deut-

lich und weit hört, während es zwiſchen dieſen zwei Richtungen vier andere von den Kanten der Zinken ausgehende gekrümmte Flächen gibt, in welchen man den Ton äußerſt ſchwach oder gar nicht hört. Ein einfacher Stab gibt zwar ſenkrecht auf die Richtung ſeiner Schwingungen einen ſchwächeren Ton als in der Richtung dieſer Schwingungen, aber die vier Flächen, in welchen der Ton gar nicht oder nur ſehr ſchwach wahrgenommen werden kann, exiſtiren bei ihm ſo gut, wie bei der Stimmgabel. Man kann dieſen Verſuch ſehr leicht anſtellen, indem man einen ſolchen Stab oder noch beſſer eine Stimmgabel vor ein mit Waſſer abgeſtimmtes Glas bringt, ſie ſchwingen läßt und während des Schwingens um ihre Axe dreht. Die Urſache der Schallfortpflanzung in der Richtung der Schwingungen iſt für ſich klar; die in einer darauf ſenkrechten Richtung erklärt Chladni (Kaſt. Arch. 7. 92) daraus, daß die Luft zwiſchen den Zinken verdichtet wird, wenn dieſe ſich einander nähern, und verdünnt, wenn ſie ſich von einander entfernen, ſo daß alſo während eines Hin- und Hergangs der Zinken die Luft ſenkrecht auf die Richtung dieſer Bewegung geſtoßen wird. Man kann etwas dieſen Schallwellen ähnliches im Waſſer ſehen, in welches die Stimmgabel oder der Stab mit dem ſchwingenden Ende getaucht wird. (Kaſt. Arch. 8. 91.) In den vier gekrümmten Flächen, wo kein Schall vernehmbar iſt, muß die Wellenbewegung dadurch aufgehoben werden, daß ein verdichteter Theil einer Welle mit dem verdünnten einer anderen zuſammenfällt. Nach Weber's Verſuchen (Schweigg. J. 48. 385) haben dieſe Flächen eine hyperboliſche Krümmung gerade ſo, wie die in Fig. 130 abgebildeten im Queckſilber entſtandenen Streifen, wo die Wellen ſich aufheben. Ohne Zweifel beruht es auf einem ähnlichen Grunde, warum man einen Sprechenden beſſer vernimmt, wenn dieſer gegen den Hörenden ſpricht, als wenn er von ihm abgewendet iſt.

Die größte bekannte Entfernung, auf welche ſich der Schall durch die Luft verbreitet hat, beträgt 75 deutſche Meilen; denn ſo weit will man die lauteſten Exploſionen des Vulkans auf St. Vincent gehört haben. Bei einer Belagerung von Genua hörte man Kanonenſchüſſe 22, bei Manheim 21 deutſche Meilen weit; die ruſſiſche Hörnermuſik iſt faſt eine Meile weit hörbar. Einen Flintenſchuß vernimmt man auf 8000 Schritte, das Marſchiren einer Compagnie auf feſtem Boden, bei ruhiger Nacht, auf 1400—2000 F., eine Escadron Cavallerie im Schritt auf 1800 F., im Trapp oder Galopp auf 2600 F. Schweres Geſchütz hört man im Schritt 1600 F.,

im Trapp 2400 F. weit fahren. Eine ſtarke Männerſtimme hört man in freier Luft bei gewöhnlicher Temperatur 800 F. weit; zu Port Bowen konnte ein Mann mit einem, ¼ M. entfernten, noch leicht eine Unterredung führen. Das Tippen einer Uhr hörte Perolle in der Luft noch bei 8 F., in Weingeiſt bei 12, in Terpentinöhl bei 14, in Olivenöhl bei 16, in Waſſer bei 20 Fuß Entfernung.

337. Man kann durch Kunſt einen Schall ſo modificiren, daß er ſich ohne merkliche Abnahme ſehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geſchieht dieſes dadurch, daß man die Schallwellen mittelſt Röhren, die glatt genug ſind, um nicht ſelbſt in Schwingungen verſetzt zu werden oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen. Dahin gehören: das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr.

Das Communicationsrohr (Fig. 140) iſt eine beliebig lange, cylindriſche Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen ſo fortgehen, wie 319 gezeigt wurde, ohne ſich zu erweitern und an Intenſität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall ſo gut, als wäre er zunächſt am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 141) iſt eine coniſche Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Öffnung erregt, ſo modificirt werden, daß ſie ſelbſt nach ihrem Austritt in großer Entfernung vom Rohre eine ſtarke Intenſität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgeſtumpften Kegel vorſtellt, dieſe Dienſte, wenn nur zwiſchen beiden Öffnungen und ihrer Länge ein rechtes Verhältniß herrſcht; nach anderen verdient ein Kegel, deſſen Wände eine logiſtiſche oder hyperboliſche Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 142) iſt eine trichterförmige, kurze, meiſtens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Öffnung eindringende Schallwelle gleichſam verdichtet wird, ſo daß einer, der dieſes Inſtrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall ſo gut hört, als wäre er zunächſt am Ohre hervorgebracht. (Siehe Suppl. S. 350—353. Lambert über einige akuſtiſche Inſtrumente. Berlin, 1796.)

E. Schwingungen ſelbſttönender Körper.

338. Wenn ein Körper, der als ſelbſttönender auftreten kann, an einer Stelle einen Stoß, Schlag ꝛc. erhält; ſo entſteht

daſelbſt eine Welle, die bis zu den Grenzen dieſes Körpers fortſchreitet, daſelbſt wird ſie aber reflectirt und nimmt eine entgegengeſetzte Geſtalt an. Wird der Stoß ſchnell hinter einander wiederholt, ſo begegnen die reflectirten Wellen den directen, ſie durchſchneiden ſich und erzeugen ſo wie die Waſſerwellen (305) ſtehende Schwingungen. In dieſen ſtehenden Schwingungen beſteht nun das Selbſttönen der Körper. Sie unterſcheiden ſich von den Schwingungen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, in Folgendem: 1) Die Wellen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, ſchreiten ſelbſt fort; diejenigen hingegen, wodurch der Schall erzeugt wird, bleiben an einer Stelle und es verwandelt ſich immer nur die Verdichtung in eine Verdünnung, die Excurſion nach einer Seite, in eine nach der entgegengeſetzten Seite. 2) Bei jenen Wellen haben die ſchwingenden Theile bei der größten Geſchwindigkeit die größte Abweichung von der natürlichen Dichte und es iſt die Geſchwindigkeit dieſer Abweichung proportionirt; bei dieſen iſt die größte Geſchwindigkeit den Theilen eigen, welche ſich in ihrer natürlichen Lage befinden, bei der größten Abweichung von der natürlichen Dichte hingegen iſt die Geſchwindigkeit am kleinſten (=0). 3) Eine ſchallerzeugende Welle dauert fort und wiederholt ſich öfters, wenn auch die erregende Urſache ſchon zu wirken aufgehört hat; jede fortpflanzende hingegen muß durch eine eigene Schwingung von jener Art hervorgebracht werden. Deßhalb klingt eine angeſchlagene Saite noch lange nach dem Schlage, ſobald ſie aber gedämpft wird, hört die fortſchreitende Schwingung augenblicklich auf.

339. Jeder elaſtiſche Körper kann ſchallen; damit aber ein Körper ſelbſt tönen kann, muß er den hierzu nöthigen Grad von Elaſticität und eine paſſende Geſtalt haben. Eine Bleimaſſe tönt nicht, man mag ſie wie immer geſtalten, weil ſie nicht elaſtiſch genug iſt, auch ein Glasklumpen tönt nicht, wohl aber eine Glasſcheibe oder eine Glasröhre ꝛc. Die Geſtalt eines ſolchen Körpers muß ſo beſchaffen ſeyn, daß die Stellen, wo ſich die Mitten einer reflectirten und einer directen Welle ſchneiden und die ſogenannten Knotenlinien bilden, den ganzen Körper in Theile abtheilen, die unter einander und zum Ganzen in einfachen Verhältniſſen ſtehen. Es kommt aber auch auf die Art, Stärke und Richtung des Stoßes an, der den Körper zum Tönen bringen ſoll. Dieſer muß immer ſo beſchaffen ſeyn, daß die Länge der urſprünglich erregten, fortſchreitenden Welle ein aliquoter Theil der

ganzen Dimenſion iſt, nach welcher der Stoß gerichtet war. Wenn mehrere Stöße hinter einander angebracht werden, ſo iſt es genug, wenn nur einige derſelben von der erwähnten Beſchaffenheit ſind, weil die ſchon gebildeten ſtehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieſes bei den Strichen eines Violinbogens der Fall iſt. Da dieſen Bedingungen verſchiedene Wellen entſprechen, ſo wird ein tönender Körper auch mehrere Eintheilungen annehmen können und bei jeder derſelben anders tönen; denn der Ton richtet ſich blos nach der Größe und Geſtalt der ſchwingenden Theile. Es werden auch ſogar mehrere Eintheilungsarten zugleich an einem Körper vorhanden ſeyn können. Der Stoß muß auch nach einer Hauptdimenſion (Länge oder Breite des Körpers) gerichtet ſeyn, wenn obige Bedingung für die Abtheilung des ſchallenden Körpers eintreten ſoll. Darum wird es für tönende Körper faſt immer nur Längen- und Querſchwingungen (Longitudinal- und Transverſalſchwingungen) geben; bei runden Körpern gibt es eben darum auch drehende Schwingungen. Selbſttönende Körper ſind: Die Luft, Saiten, geſpannte Membranen, Stäbe, ſowohl gerade als gekrümmte, wie Gabeln, Ringe, endlich Platten, ebene und krumme, wie Glocken, Gefäße 2c.

340. Die Luft dient in allen Blasinſtrumenten als tönender Körper. Davon überzeugt man ſich dadurch, daß dieſe Inſtrumente ſo lange denſelben Ton geben, als die darin enthaltene Luftſäule dieſelben Dimenſionen hat, ſie mögen aus was immer für einem Materiale beſtehen. Die Schwingungen der Luft ſind Längenſchwingungen. Sie werden erregt: 1) indem man die eingeſchloſſene Luftſäule an einem Ende ſchnell hinter einander durch Hineinblaſen verdichtet, wie dieſes bei Waldhörnern, Trompeten 2c. geſchieht. 2) Durch einen ſchmalen Luftſtrom, den man an dieſer Luftſäule vorbeiſtreichen läßt; dieſes thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblaſen in einen Schlüſſel, in eine Flöte 2c. 3) Durch einen Luftſtrom, den man durch eine Spalte bläſt, an der ſich ein elaſtiſches Plättchen befindet, welches durch das Anblaſen in Schwingungen verſetzt wird, in dieſem Zuſtande die Öffnung abwechſelnd herſtellt und ſchließt, und ſo regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeife ausübet. Dieſes iſt bei den Rohrwerkpfeifen der Orgeln und bei den Blasinſtrumenten, welche Mundſtücke haben, der Fall. Durch eine

ſolche regelmäßig auf einander folgende Reihe von Stößen wird auch der Ton in der ſogenannten chemiſchen Harmonica erregt. 4) Indem man einen ſchon ſchwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeife zum Anſprechen gebracht, wenn man eine ſchwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. Durch dieſe Arten, ſchallende Luftſchwingungen zu erregen, wird unmittelbar nur eine Welle erzeugt, deren Länge einen beſtimmten, aliquoten Theil der Pfeifenlänge beträgt, und die vom Ende, wo ſie erregt wurde, bis zum entgegengeſetzten fortſchreitet, an dieſem aber reflectirt wird. Der Erfolg dieſer Reflexion iſt verſchieden, je nachdem die Röhre offen oder gedeckt iſt. Im erſteren Falle wird durch die Reflexion der verdünnte Theil der Welle in einen verdichteten und umgekehrt verwandelt, im zweiten behält jeder Theil nach der Reflexion ſeinen Character bei. Die Urſache der Umkehrung der Ordnung im erſteren Falle liegt darin, daß die verdichteten Lufttheile an der Öffnung leichter ausweichen können, als innerhalb derſelben, weil ihnen dieſes nach allen Seiten geſtattet iſt, während die in der Röhre befindlichen nur vorwärts gehen können.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife iſt aus Fig. 143 *a* und *b* zu erſehen; *a* ſtellt ſie perſpectiviſch, *b* im Längendurchſchnitte vor. Sie beſteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem coniſchen unteren Theile *ABC*, dem Stiefel oder Windrohre, der unten offen, oben mittelſt einer Querplatte *BC* bis auf eine enge Spalte *C* in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geſchloſſen iſt, und aus der eigentlichen Pfeife *BCDE*, deren unterer, in der Nähe von *C* befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen iſt und ebenfalls eine Lefze bildet; zwiſchen den beiden Lefzen iſt ein Einſchnitt. Die Luft wird durch *A* in den Stiefel geblaſen, bricht ſich in *C*, dringt durch die viereckige Öffnung heraus und erregt ſo in der Pfeife Schwingungen. Eine Rohrwerk- oder Zungen-Orgelpfeife (Fig. 144) beſteht, wie die vorhergehende, aus einem Fuße *ABC*, durch welchen die Luft eingeblaſen wird und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpſel vom Fuße getrennt iſt. Die Communication zwiſchen beiden iſt aber nicht blos wie bei einer Flötenwerkspfeife durch eine einfache feine Spalte hergeſtellt, ſondern durch eine hölzerne Rinne *ab*, welche durch den Stöpſel geht und im Fuße mit einem elaſtiſchen Metallplättchen (Zunge) gedeckt iſt, das die Rinne mehr oder weniger ſchließt, je nachdem man die Krücke *c* weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die ſogenannten Mundſtücke mancher Blasinſtrumente ſind wie eine ſolche Pfeife eingerichtet. An eini-

gen wird das Plättchen ſelbſt in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und dieſe verdienen im eigentlichen Sinne Mundſtücke genannt zu werden.

341. Die Tonhöhe eines Blasinſtrumentes richtet ſich im Allgemeinen nach der ſpeciſiſchen Expanſivkraft der ſchwingenden Luft und nach dem Verhältniſſe der Dimenſionen der Luftſäule; in vielen Fällen hat auch die Geſtalt dieſer Säule, die Größe und Lage des Mundloches, die Beſchaffenheit der Wände und die Art des Anblaſens darauf Einfluß.

342. Der Ton einer Pfeife iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto höher, je größer die ſpeciſiſche Ausdehnſamkeit der Luft iſt. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Waſſerſtoffgas anſpricht, einen höheren Ton als eine mit atmoſphäriſcher Luft, und eben deßhalb iſt der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht ſich der Ton während des Anblaſens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeife keinen tieferen oder höheren Ton als an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimenſionen, die in verſchiedenen Luftarten anſprechen, hat man zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit des Schalles in dieſen Luftarten benützt, indem man von dieſen Tonhöhen auf die Anzahl der Schwingungen ſchloß, die in einer gegebenen Zeit geſchehen, und aus dieſer und der gegebenen Pfeifenlänge den von der Welle zurückgelegten Weg berechnete. So fand man die in 323 angegebenen Werthe für die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gasarten.

343. In Flötenwerkpfeifen und in Blasinſtrumenten, welche dieſen ähnlich ſind und feſte Wände haben, hängt die Tonhöhe blos von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab und iſt ihr verkehrt proportionirt, vorausgeſetzt, daß die Längendimenſion einer ſolchen Pfeife ihre Breite mehr als ſechsmal übertrifft und die Erſchütterung an der ganzen Mündung erfolgt. Die Art des Anblaſens, ob die Pfeife gerade oder gekrümmt iſt, hat darauf keinen Einfluß. Nach Außen divergirende Pfeifen geben einen etwas höheren, convergirende einen etwas tieferen Ton, als ſolche, welche parallele Wände haben. Bekanntlich laſſen ſich mit einer ſolchen Pfeife mehrere Töne hervorbringen, welches darin den Grund hat, daß ſich die Luft in verſchiedene, durch Schwingungsknoten von einander getrennte Theile, theilen kann. Die Folge der Tonverhältniſſe, die eine ſolche Pfeife geben kann, iſt verſchieden, je nachdem

die Pfeife beiderſeits offen oder auf einer Seite geſchloſſen (gedeckt) iſt. In einer ganz offenen Pfeife bewegt ſich die Luft bei der einfachſten Schwingungsart ſo, daß in der Mitte ein Schwingungsknoten entſteht, an welchen ſich die Lufttheilchen gleichſam anſtemmen (Fig. 145), und da gibt ſie auch den tiefſten Ton, deſſen ſie fähig iſt; bei der zweiten Art (Fig. 146) entſtehen zwei Knoten, deren jeder um $\frac{1}{4}$ der ganzen Länge von einem Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Octave höher, als der erſtere; bei der dritten Schwingungsart ſind drei Knoten, wovon einer in der Mitte liegt, während jeder der zwei anderen um $\frac{1}{6}$ der ganzen Pfeifenlänge von einem Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Quinte höher, als der zweite u. ſ. w. Heißt man die Anzahl der Schwingungen bei der erſten Schwingungsart 1, ſo drücken die natürlichen Zahlen 2, 3, 4 ꝛc. diejenigen aus, welche der 2ten, 3ten, 4ten Schwingungsart entſprechen. Es geſtattet daher jedes Inſtrument, welches aus einem beiderſeits offenen Rohre ohne Seitenlöcher beſteht, nur eine gewiſſe Folge von Tönen, und man begreift leicht, warum man verſchiedene Aufſätze braucht, um alle Töne hervorbringen zu können, die in der chromatiſchen Tonleiter liegen. In einer gedeckten Pfeife bewegt ſich die Luft bei der einfachſten Schwingungsart abwechſelnd gegen das gedeckte Ende zu und wieder von da zurück, und gibt da den tiefſten Ton (Fig. 147). Bei der zweiten Schwingungsart entſteht ein Schwingungsknoten, der um $\frac{1}{3}$ der Pfeifenlänge vom offenen Ende entfernt iſt, und der Ton iſt um eine Octave und eine Quinte höher als im vorigen Falle (Fig. 148). Überhaupt nehmen die Schwingungszahlen zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 ꝛc. In Inſtrumenten mit Seitenlöchern wird die Länge der ſchwingenden Luftſäule durch das Öffnen oder Schließen dieſer Löcher modificirt und ſo der Ton erhöht oder erniedriget. Vergleicht man den Ton, welchen eine offene prismatiſche oder cylindriſche Pfeife bei der einfachſten Schwingungsart gibt, mit dem einer gleich langen gedeckten Pfeife, in der ebenfalls die einfachſte Schwingungsart Statt hat; ſo findet man jenen um eine Octave höher als dieſen. Der Ton einer nur zum Theile gedeckten Pfeife iſt höher als der einer gleich großen ganz gedeckten und tiefer als der einer ganz offenen. Hieraus erklärt ſich der Kunſtgriff der Waldhorniſten, mit der Hand am Trichter des Inſtrumentes den Ton etwas zu ändern, und die Methode, eine Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgeſetzten Platte zu ſtimmen. Ke-

gelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man ſie an der engeren Seite anbläſt, wohl auch einen höheren Ton, als einerſeits geſchloſſene von denſelben Dimenſionen, jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in erſteren höher iſt, als in letzteren. Je größer dieſer Winkel iſt, deſto mehr Intervalle liegen zwiſchen dem Grundtone einer offenen und dem einer geſchloſſenen Pfeife. In der Regel betragen ſie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

Die Lage der Schwingungsknoten und der ſtärkſten Bewegung der Lufttheile in einer tönenden, weiten Pfeiſe kann man nach Savart dadurch finden, daß man die Röhre vertical ſtellt und in ſie, während ſie tönt, ein dünnes, über einen Ring geſpanntes, wie eine Wagſchale an Fäden hängendes, mit feinem Sande beſtreutes Häutchen immer mehr und mehr hineinſenket, und dabei ſtets die Bewegung des Sandes beobachtet, die an der Stelle der Schwingungsknoten völlig aufhört, an den Stellen der ſtärkſten Vibration aber am heftigſten iſt. Die Methode, die Lage eines Kolbens einer offenen Pfeife dadurch zu beſtimmen, daß man einen Kolben ſo weit in dieſelbe hineinſchiebt, bis die nun als gedeckt anzuſehende Pfeife wieder denſelben Ton von ſich gibt, wie bei der einfachſten Schwingungsweiſe im offenen Zuſtande, und die Länge des eingeſchobenen Kolbenſtückes für die Länge der ſchwingenden Luftſäule anzuſehen, iſt, Dulong's Verſuchen (Zeitſch. 6. 474.) gemäß, unſicher, doch kann man durch dieſes Mittel das Verhältniß der Schwingungszahlen gleicher Säulen verſchiedener Gaſe richtig finden, weil bei allen Gaſen die Knotenfläche auf dieſelbe Stelle fällt.

344. Der Ton einer Pfeife, deren Durchmeſſer mehr als $\frac{1}{6}$ ihrer Länge beträgt, und einer ſolchen, wo die Luftmaſſe nur zum Theil erſchüttert iſt, hängt von der Art des Anblaſens und von der Größe und Lage des Mundloches ab. Man kann blos durch Modification des Luftſtromes alle Töne innerhalb $1\frac{1}{2}$—2 Octaven hervorbringen. Dieſes zeigt ſich beſonders an jenem kleinen Inſtrumente, womit die Jäger die Stimme verſchiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8—9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre beſteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geſchloſſen, in der Mitte mit einem kleinen Loche verſehen iſt. Dieſes Inſtrumentchen wird zwiſchen die Lippen genommen und gibt ſehr verſchiedene Töne, je nachdem man ſtärker oder ſchwächer bläſt. Man kann ſeine Größe und Geſtalt auf vielfache Weiſe abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des In-

ſtrumentes hervorzubringen, als die, daß ſich bei einem größeren Volumen desſelben tiefe Töne leichter hervorbringen laſſen, als höhere. Im Allgemeinen iſt der tiefſte Ton deſto tiefer, je weiter die Öffnung iſt. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beſchaffenheit der Wände einen ſehr großen Einfluß. Sind dieſe Wände einer verſchiedenen Spannung fähig, ſo wird der Ton deſto tiefer, je geringer dieſe Spannung iſt. Demnach müſſen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elaſtiſchen Wänden den größten Tonumfang haben.

345. Eine Zungenpfeife iſt ein aus zwei ſchwingenden Körpern, der Luftſäule und der elaſtiſchen Platte, beſtehendes Inſtrument; ſeine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieſer beiden Beſtandtheile beſtimmt werden, die durch ihre Verbindung von einander abhängig geworden ſind und ſich gegenſeitig dahin abändern, daß ſie gleichzeitig ſchwingen. Die Tonhöhe einer ſolchen Pfeife hängt demnach von der Elaſticität und den Dimenſionen des Plättchens und von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab. Ein voller und ſtarker Ton einer ſolchen Pfeife wird blos von den auf das Plättchen wirkenden Luftſtößen hervorgebracht und ſeine Höhe wird faſt ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens beſtimmt; denn dieſe Höhe ändert ſich nur ſehr wenig, wenn man die ſchwingende Luftſäule ganz wegnimmt, wie dieſes bei der ſogenannten Physharmonica der Fall iſt. Setzt man an das Mundſtück eine offene Röhre an, deren Luftſäule eine ſolche Länge $= a$ hat, daß ſie mit der freien Platte gleichzeitig ſchwingt, ſo wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftſäule anfangs kürzer als $\frac{1}{4}a$ und läßt ſie allmählig bis a wachſen; ſo ändert ſich die Tonhöhe in der erſten Hälfte der Verlängerung nur ſehr wenig, in der zweiten aber bedeutend. Beträgt die Länge der angeſetzten Luftſäule $2a$, $3a$ oder $4a$, ſo iſt der Ton um 2, 3 oder 4 Octaven tiefer, iſt dieſe Säule aber nur wenig länger als a, $2a$, $3a$, $4a$ ꝛc., ſo hat der Ton faſt die Höhe desjenigen, der ohne Luftſäule Statt findet. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

346. In die Klaſſe derjenigen Inſtrumente, in denen die Luft als ſchallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere und Menſchen. Das Stimmorgan des Menſchen beſteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lun-

ge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf iſt eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabſchnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, ſo angebracht ſind, daß ſie die Luftröhre bis auf eine ſchmale Spalte, die Stimmritze, ſchließen können. Dieſe Bänder können geſpannt und nachgelaſſen werden, ſo daß ſich die Stimmritze verengen und erweitern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, ſo erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgeſtoßen, ſo entſteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Huſten erfolgt auf dieſe Weiſe. Wird aber die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch ſie getrieben, ſo erſcheint erſt der gehörige Klang. Die Luft ſchwingt im Stimmorgane, wie in einer coniſchen Zungenpfeife. Ungeachtet ſeines geringen Rauminhaltes iſt es doch vieler Töne fähig, weil ſein unterer Theil elaſtiſche Wände hat, die eine verſchiedene Spannung annehmen können, und weil durch größeres oder geringeres Öffnen des Mundes die Dimenſionen der Luftſäule bedeutend abgeändert werden können, endlich weil ſich der Stimmapparat mittelſt der Lippen bald ſchließen bald öffnen läßt und er daher bald wie eine offene bald wie eine geſchloſſene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verſchiedene Biegung der Zunge und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der ſchwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verſchiedene Articulation der menſchlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur die Vögel, Säugthiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derſelben haben auch die hängenden Membranen, die man im menſchlichen Stimmorgane findet; das Stimmorgan einiger Thiere beſteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitſch. 1. 12.)

347. Die Inſtrumente, in welchen die Luft der tönende Körper iſt, haben das Eigene, daß ſie zu lauten aufhören, ſobald die den Schall erregende Urſache aufhört zu wirken, und nicht, wie eine Saite, nachklingen. Die Urſache liegt, nach Poiſſon, darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeife zurückgeworfene Welle ſtets ſchwächer iſt, als die auffallende, von der ſie abhängt, daher ſie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intenſität hat.

348. Eine Saite kann transverſal und longitudinal ſchwingen. Transverſalſchwingungen einer Saite werden hervorgebracht, wenn man einen Geigebogen rechtwinkelig auf die Saite aufſetzt, und ſie damit ſtreicht. Sie ſchwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excurſion die Geſtalt *a* und *b* an (Fig. 149), wo *cd* die ruhende Saite vorſtellt, oder ſie ſchwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten ſchwingt ſie ſo wie Fig. 150 *AFDfB*, mit zweien ſo, wie Fig. 151 zeigt. Man kann eine ſolche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man ſie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger ſanft berührt, und den kürzeren Theil mit dem Bogen ſtreicht. Man hört da nicht den Hauptton der Saite, ſondern ihre zweite Octave, zum Beweiſe, daß jeder vierte Theil der Saite allein ſeine Schwingungen gemacht habe. Setzt man auf verſchiedene Puncte der Saite, mitunter auch auf die, welche ſie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierſtreifchen wie Reiter und verfährt wie vorhin; ſo bleiben die auf die Viertheilungspuncte aufgeſetzten allein ſitzen und die übrigen ſpringen herab. Spannt man zwei gleich dicke Saiten neben einander, wovon die Länge der einen ein Vielfaches von der Länge der anderen iſt; ſo darf man nur die kürzere Saite mit einem Bogen ſtreichen, um bei der anderen eine ſolche Abtheilung zu bewirken, daß ſie denſelben Ton gibt, welchen die kürzere hören läßt, und mittelſt papierner Reiter kann man die Knoten wieder ſichtbar machen. Solche Abtheilungen bewirkt man, wenn man eine Saite nahe an einem ihrer Befeſtigungspuncte ſehr leiſe mit dem Bogen ſtreicht, oder während eines leichten Striches an einer beliebigen Stelle am gehörigen Platze einen Finger leicht aufſetzt, wie man dieſes beim Hervorrufen der Flageolettöne thut. Es kann eine Saite ſogar der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge ſchwingen. Verſetzt man z. B. eine hinreichend lange, am beſten mit Metall überſponnene Darmſaite in transverſale Schwingungen; ſo hört man nebſt dem Hauptttone, den ſie gibt, wenn ſie nach der ganzen Länge ſchwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar die nächſt höhere Octave, die Quinte dieſer Octave u. ſ. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben iſt, ſo muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil ſchwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u. ſ. f., mithin muß ſie ſich in Stücke theilen, deren Länge

$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ ꝛc. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß ſo ſchwingen, als wäre er für ſich beſtehend. Eine Saite, die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt, ſchwingt, muß nothwendig eine Geſtalt annehmen, die aus der Geſtalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zuſammengeſetzt iſt. Hat z. B. die Saite *AB* (Fig. 150) die Krümmung *AHB*, wenn ſie der ganzen Länge nach ſchwingt, hingegen die Geſtalt *AFDfB*, wenn jede ihrer Hälften ſchwingt; ſo entſteht aus dieſen beiden die Krümmung *AEChB*, die man erhält, wenn man *HE* = *GF* und *eh* = *fg* macht, endlich durch *A*, *E*, *C*, *H*, *h*, *B* die Curve zieht.

349. Longitudinalſchwingungen werden erregt, wenn man den Bogen unter einem ſehr ſpitzen Winkel auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Dabei ziehen ſich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechſelnd zuſammen und dehnen ſich wieder aus. Schwingt die Saite *AB* (Fig. 152) ohne Schwingungsknoten, ſo ſtützen ſich ihre Theile bei der Bewegung an die befeſtigten Enden; berührt man ſie in der Mitte *C* leicht, ſo bildet ſich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen ſich abwechſelnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weiſe kann man eine Abtheilung in 3, 4 ꝛc. Theile, mithin 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ ꝛc. ihrer Länge ſanft berührt. Nimmt man die Schwingungsanzahl der ganzen Saite als Einheit an, ſo laſſen ſich die Schwingungszahlen bei 1, 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4 ꝛc. ausdrücken. Die Geſetze der Longitudinalſchwingungen haben mit denen der transverſalen nichts gemein, als daß ſich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet und die Schwingungszahlen dieſer Länge verkehrt proportionirt ſind; aber die durch Longitudinalſchwingungen hervorgebrachten Töne ſind durchaus höher als jene, welche bei transverſalen Schwingungen derſelben Saite entſtehen, gar nicht von der Dicke und, beſonders bei ſehr langen und dicken Metallſaiten, ſehr wenig von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Verſuchen über dieſe Schwingungen ſehr lange Saiten nehmen.

Die longitudinalen Schwingungen ſtehen zu den transverſalen in einer ſolchen Beziehung, daß ſich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei erſteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Ver-

längerung. Die Schwingungen einer Saite mögen transverſal oder longitudinal ſeyn, ſo bewegen ſich ihre kleinſten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinſten Theile von einander Statt finden kann, und in ſo fern iſt es wohl begreiflich, daß transverſale Schwingungen faſt immer von longitudinalen begleitet ſind und umgekehrt, ſo wie daß eine transverſal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, wie dieſes Pelliſov von der Äolsharfe annimmt (Pogg. Ann. 19. 237.), bei welcher dieſes um ſo leichter ſeyn kann, als der Wind, ungeachtet er die Saite transverſal trifft, doch nach dem Stoße längs der Saite hingleitet und das Entſtehen von Längenſchwingungen begünſtiget. Bei der Wetterharfe findet ohne Zweifel dasſelbe Statt.

350. Eine ſchmale, nur der Länge nach geſpannte Membrane ſchwingt ſo wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfaſern bilden eine Knotenlinie. Iſt dieſe Membrane breiter, ſo befolgt ſie in ihren Schwingungen Geſetze, wie elaſtiſche Scheiben, von denen in der Folge die Rede ſeyn wird. Eine allerſeits geſpannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei dieſen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieſelben Verhältniſſe, wie bei Saiten; aber einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es ſind manche, die bei Saiten Statt finden, für geſpannte Membranen ganz unmöglich.

351. Die Schwingungen elaſtiſcher Stäbe geſchehen nach anderen Geſetzen, als die der Saiten, weil ihre Elaſticität nach allen Richtungen, nicht blos nach der Länge, wirkt. Da ſie für ſich, ohne künſtliche Spannung, ſchon elaſtiſch ſind; ſo kann man die Verſuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern, man kann ſie entweder an einem Ende, oder nur in der Mitte, oder an beiden Enden befeſtigen, an einem Ende an einen harten Körper anſtemmen, am anderen frei laſſen oder befeſtigen, oder endlich an beiden Enden anſtemmen.

352. Wenn man ſolche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasſtangen oder ſchmale Glasſtreifen, mit einem Bogen rechtwinkelig ſtreicht; ſo geben ſie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der Dicke, und im verkehrten mit dem Quadrate

der Länge ſteht. Sollen Schwingungsknoten entſtehen, ſo darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann ſtreichen. Mit der Anzahl der Schwingungsknoten nimmt auch die Höhe des Tones zu. Den tiefſten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten ſchwingt, wie *AB* in Fig. 153. Iſt dieſer in *A* befeſtigt, in *B* aber frei, ſo macht er beim Schwingen mit ſeiner Richtung im ruhigen Zuſtande *AB* Winkel, deren Scheitel im befeſtigten Puncte *A* liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird dieſe Richtung in ſo vielen Puncten durchſchnitten, als Schwingungsknoten vorhanden ſind. Bei einem derſelben ſchwingt er, wie Fig. 154, bei zweien, wie Fig. 155 zeigt. Iſt der Stab in *A* blos angeſtemmt, in *B* ganz frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingungsart ſchon einen Schwingungsknoten, aber ſeine Geſtalt weicht von der in Fig. 154 bezeichneten ab und iſt mehr gekrümmt, indem ſich da die Theile ſchon nahe am angeſtemmten Puncte mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingung ſchon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderſeits angeſtemmter Stab ſchwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja ſelbſt wenn er an beiden Enden befeſtigt iſt, haben ſeine Schwingungen noch mit denen an Saiten viele Ähnlichkeit, es ſind aber ſowohl die Tonverhältniſſe als auch die Krümmungen von denen eines beiderſeits blos angeſtemmten Stabes merklich verſchieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlſtab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubſtock ein, und verſetzt ihn durch einen Hammerſchlag in Querſchwingungen; ſo kann man die Geſtalt desſelben beim Oscilliren und den Ort ſeiner Schwingungsknoten genau ſehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, ſo gibt dieſes beim Schwingen ſehr ſymmetriſche Figuren. (Wheatſtone's Kaleidophon. Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerſeits befeſtigten, andererſeits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten ſchwingt, verhalten ſich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5, wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9, ꝛc. Iſt ein Ende angeſtemmt, das andere frei, ſo folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 ꝛc.; ſind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Die Tonreihe eines beiderſeits angeſtemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc., die

eines beiderſeits befeſtigten den Quadraten von 3, 5, 7 ꝛc. Ein einerſeits befeſtigter, andererſeits angeſtemmter Stab befolgt dasſelbe Geſetz der Tonreihe, wie ein einerſeits angeſtemmter, andererſeits freier.

353. Reibt man einen elaſtiſchen, hinreichend langen und glatten, möglichſt geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten, oder mit Bims überſtreuten Lappen; ſo geräth er in Schwingungen der Länge nach. Glasſtreifen verſetzt man am leichteſten durch einen Schlag in ſolche Schwingungen, oder auch dadurch, daß man nach ihrer ganzen Länge, parallel mit einer Kante einen Glasſtab ankittet, ihn an einem Ende bedeutend hervorragen läßt und dann dieſen mit einem Lappen reibt. Bei dieſen Schwingungen geben die Stäbe Töne, die ſich von den bei Transverſalſchwingungen entſtandenen ſo unterſcheiden, wie bei Saiten. Beſtreut man den Stab mit Sand, ſo häuft ſich dieſer an den Ruheſtellen an und macht ſie ſichtbar. Savart hat (*Ann. de Ch.* 25. 225) die Lage der Schwingungsknoten longitudinal ſchwingender, hohler und maſſiver Cylinder, ſo wie die eben ſo ſchwingender, ſchmaler, langer Platten unterſucht und mehrere intereſſante Reſultate gefunden. Er hielt zur Erreichung dieſes Zweckes die zu unterſuchenden Cylinder horizontal, behing ſie von Außen mit ſchmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn ſie hohl waren, im Innern derſelben feinen Sand möglichſt gleichförmig und ſtrich ſie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen an entſprechende Stellen fallen, ſondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine ſolche Röhre um ihre Axe drehte und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten unterſuchte, überzeugte er ſich, daß die Knoten beider Oberflächen in ſchraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, ſondern meiſtens aus zwei Stücken beſtehen, wovon das eine in einem Querſchnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 156 zeigt dieſes für eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende ſtreicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend, bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieſelbe Weiſe gewunden. Die Gebrüder

Weber (Wellenlehre S. 555 und Schweigg. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, ſehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch ſo, daß ſich jede derſelben nur auf den halben Umfang eines Querſchnittes erſtreckte; für die andere Hälfte fiel ſie in einen anderen Querſchnitt. Von der ſpiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenſchwingungen der Cylinder fand Savart ſelbſt noch an ſchmalen, langen, ſchwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand beſtreuten Glasſtreifen zum Schwingen; ſo ordnet ſich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens ſenkrechte Linien. Merkt man ſich dieſe Stellen, kehrt dann den Streifen um und verſetzt ihn aufs Neue in Längenſchwingungen; ſo ſammelt ſich der Sand nicht mehr an den den vorigen entſprechenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1$\frac{1}{2}$ L. dick iſt, ſo liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entſtandener gegenüber. An der ſchmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar ſchief, als wollten ſie die den beiden entgegengeſetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An breiten (1—2 Zoll) Streifen erſcheinen ſelbſt die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen, wie Fig. 157 zeigt.

354. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten ſind Stäbe noch einer dritten fähig, die man drehende nennt. Man erregt ſie am leichteſten an cylindriſchen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubſtock einſpannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen ſtreicht. Durch Berühren an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in ſchwingende Theile bewirken. — Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elaſtiſcher Stäbe ſtehen mit einander in einer ſolchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungszahl bei einer dieſer Schwingungsarten auf die bei den anderen ſchließen kann. (Suppl. 362.)

355. Die hier dargeſtellten Geſetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die gekrümmten, nur mit dem Unterſchiede, daß die Schwingungsknoten, zwiſchen welche die Biegung fällt, durch das Biegen einander näher gerückt und ſo die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt und ſie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein ga-

belförmiger Stab, wie unſere Stimmgabeln, gibt den tiefſten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am anderen ſchlägt oder mit einem Bogen ſtreicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 158, und einen noch höheren, wenn er mit vier ſchwingt, wie aus Fig. 159 zu erſehen iſt. Ein ringförmiger Körper theilt ſich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengeſetzten Richtungen ſchwingen. Berührt man ihn an den Grenzen ſolcher Theile und ſtreicht ihn an einer Stelle, die zwiſchen zwei ſolchen Grenzen liegt; ſo bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entſprechen und deſto höher ſind, in je mehr ſolche Theile ſich der Ring getheilt hat.

156. Faſt bei allen dieſen Schwingungen betrachtet man elaſtiſche Stäbe blos als Linien und ſieht dabei gleichſam nur auf die Bewegung der in ihrer Längenaxe liegenden Theile. Bei langen und dünnen Stäben konnte dieſes auch ohne merklichen Fehler geſchehen; bei ſolchen hingegen, wo die Breite und Dicke ſo groß iſt, daß ſie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die vorhergehenden Geſetze merklich modificirt. Dieſes kann man vorzüglich aus der ungleichen Schallverbreitung (336) rings um einen ſolchen Stab abnehmen. Aus W. Weber's ſchönen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand (Schweigg. J. 48. 423) geht hervor, daß ein prismatiſcher, ziemlich dicker Stab, bei ſeinen Querſchwingungen zwei Wellen in der ihn umgebenden Luft erregt, nämlich eine an der Vorder-, die andere an der Hinterfläche. Dieſe zwei Wellen haben entgegengeſetzte Eigenſchaften und die eine entſteht etwas früher als die andere. Es ſcheint, als gäbe es in jedem Querſchnitte eines ſolchen Stabes ähnliche Schwingungen, wie in einem Ringe, der mit mehreren Schwingungsknoten ſchwingt. Nach Poiſſon (Suppl. 36) erfolgt während einer Lähgenſchwingung eines Stabes eine auf ſeine Axe ſenkrechte (normale) Schwingung, die mit jener iſochron iſt und dort die größte Ausbeugung verurſacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten iſt und umgekehrt.

257. Wenn elaſtiſche Platten an einer oder an mehreren Stellen feſt gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal geſtrichen werden; ſo bilden die Knotenlinien, die durch aufgeſtreuten Sand ſichtbar gemacht werden, gewiſſe Figuren, welche man Klangfiguren oder insbeſondere nach ihrem Entdecker, Chlad-

ni'ſche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten ſchließen kann. Um dieſe Figuren rein hervorzubringen, bedient man ſich am beſten Scheiben von grünem, dünnen Fenſterglaſe, denen der ſcharfe Rand benommen worden iſt; es laſſen ſich aber auch Metallplatten und ſelbſt Holzſcheiben dazu brauchen. Man reicht meiſtens aus, wenn die Platten einen Durchmeſſer von 3 — 6 Zoll haben, nur für verwickeltere Figuren braucht man größere Tafeln. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entſtehungsortes der Wellen, durch die Länge der entſtandenen Wellen und durch die Geſtalt der Platte beſtimmt, wie man leicht einſieht, wenn man bedenkt, daß ſie aus dem regelmäßigen Zuſammentreffen der directen und reflectirten Wellen entſtehen. Daher geben Platten von verſchiedener Geſtalt auch verſchiedene Klangfiguren, daher laſſen ſich auch in derſelben Platte verſchiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen ſtärker oder ſchwächer, ſchneller oder langſamer ſtreicht und dadurch gleichſam die Länge einer Welle beſtimmt, endlich die Lage des Punctes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man ſtreicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 160 — 167 ſtellen ſolche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entſtehen, wenn man ſie in *a* hält und in *b* ſtreicht. Man kann die an einer Platte von beſtimmter Geſtalt hervorbringbaren Klangfiguren in mehrere Claſſen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle blos aus Durchmeſſern beſtehenden Figuren eine eigene Claſſe, die aus concentriſchen Kreiſen ohne Durchmeſſer beſtehenden eine andere, die aus Kreiſen und Durchmeſſern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigſtens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

258. Die einfachſte Figur iſt immer von dem tiefſten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zuſammengeſetzter eine Klangfigur wird, deſto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 160 entſteht, den tiefſten Ton; ein höherer begleitet die Figur 161, und ein noch höherer die Figur 162. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verſchiedener Höhe, und in derſelben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Änderung der

Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringſten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Figur 163 alſogleich in 164 über, wenn man die feſt gehaltene Stelle *a* nur um wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert.

259. Die Knotenlinien ſind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 160—163, bald gekrümmt, wie in Fig. 164 und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn ſie aber nicht in ſich zurückkehren, ſo erſtrecken ſie ſich immer bis an die Ränder der Scheibe und hören nie in derſelben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen iſt immer ein aliquoter Theil der Dimenſion der Platte, welche auf ihr ſenkrecht ſteht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß ſie ausſehen, als wären ſie aus einfachen zuſammengeſetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entſteht die Figur 168, die man in einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man 4 kleine Tafeln, an denen die Figur 160 hervorgebracht wurde, ſo zuſammenſetzt, wie die ſtark ausgezogenen Linien zeigen.

360. Es iſt kein Zweifel, daß ſich eine ſchwingende Scheibe nicht blos in ſolche Theile abtheilt, wie ſie durch die nun beſprochenen Klangfiguren bezeichnet werden, ſondern daß jeder ſolche Theil ſelbſt wieder in ſehr vielen Unterabtheilungen vibrirt, wodurch aber kein für uns hörbarer Ton mehr erzeugt wird. Überzieht man nämlich eine horizontal gehaltene Platte mit einer dünnen Waſſerſchichte und bringt ſie dann zum Tönen, ſo zeigt ſich die Flüſſigkeit wie ein feines Netz; bei den tieferen Tönen iſt es weiter, bei den höheren enger, bei dem höchſten, welchen die Platte geben kann, gleicht es dem feinſten Gewebe von der regelmäßigſten Bildung. Figuren, welche fein gepulverte Körper, wie z. B. Hexenmehl, auf ſchwingenden Platten bilden, bezeichnen aber nicht immer Ruhelinien der Platte, ſondern rühren oft von den Bewegungen her, welche der die Platte berührenden Luft zu Theil werden. Solche Figuren unterbleiben daher ſtets in verdünnter Luft und das feinſte Pulver häuft ſich gleich dem gröberen Sande an den Knoten an. Jene Luftbewegungen gehen nach Faraday (*Phil. Mag.* 10. 42) von den Knoten der ſchwingenden Platte aus, ſchreiten von zwei entgegengeſetzten Seiten gegen die Stelle der ſtärkſten Schwingung hin und bilden ſo jene Wirbel, durch welche oft deutlich bemerkbare Staubwolken über ſchwingenden Platten entſtehen. Da ſich die entgegen-

geſetzten Bewegungen nahe in gleichen Abſtänden von zwei Knotenlinien aufheben; ſo müſſen die von ihnen herrührenden Figuren mitten zwiſchen jenen Knotenlinien Platz finden und den Klangfiguren ähnlich ſeyn. Savart hat ſie fälſchlich von einer Unterabtheilung ſchwingender Partien abgeleitet. (Zeitſch. 4. 104.)

361. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, ſind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt ſich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen ſchwingen. Daher hört man außer dem eigenthümlichen, tiefſten Tone einer Glocke mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieſer Nebentöne für ſich entlocken, wenn man ſie an einem oder an zwei Puncten, wohin eine Knotenlinie fällt, ſanft hält, und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmeſſers ſtreicht. Iſt ſie dabei mit Waſſer gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; ſo werden die Knotenlinien durch das Kräuſeln des Waſſers oder durch die Anhäufung des Sandes ſichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich ſichtbar machen und ſich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwiſchen zwei Knotenlinien der anderen falle.

362. An Platten von beſonders ſymmetriſchem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien ihren Ort ändern, ohne dadurch eine Änderung in der Größe der ſchwingenden Theile und in der Tonhöhe hervorzubringen. Man kann eine ſolche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raſchen Bogenſtrich in Schwingungen verſetzt, den Bogen ſchnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt rc. und ſo mehrmal hinter einander verfährt. Je ſchneller man ſtreicht und den Bogen wieder zurückzieht, deſto weiter rücken die Knotenlinien. Wiederholt man daſſelbe Verfahren, ſobald dieſe Linie in Ruhe gekommen iſt; ſo kann man ſie neuerdings zum Weiterrücken bringen und ſie in einem ganzen Kreiſe herumführen. Erfolgen die Schwingungen langſam, ſo kann man dieſes Weiterſchreiten durch feinen Sand ſichtbar machen, bei ſchnellen Schwingungen hingegen erfährt man es dadurch, daß man Sonnenlicht auf eine glänzende Metallſcheibe fallen läßt und das Bild der Sonne beim Schwingen der Scheibe betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erſcheint dieſes

oval, beim Schwingen aber (falls eine ſternförmige Klangfigur entſteht) ſternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, ſo nimmt auch dieſer Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitſch. 4. 109.)

363. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper ſind nicht blos wegen ihren acuſtiſchen Beziehungen intereſſant, ſondern auch darum, weil ſie uns ein ſehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elaſticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verſchiedenen Richtungen parallelepipediſche Stäbe von gleichen Dimenſionen und verſetzt ſie auf einerlei Weiſe in Schwingungen; ſo kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elaſticität ſchließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisſcheiben und verſetzt ſie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien beſtehende Klangfigur entſteht; ſo müſſen dieſe Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elaſtiſch iſt. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, ſo beſitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elaſticität, aber man wird die Stellen ausfindig machen können, wo dieſe am kleinſten und wo ſie am größten oder wie ſie überhaupt angeordnet iſt. Durch dieſes Mittel erkannte Savart, daß Holz, kryſtalliſirte Körper, von denen er beſonders Doppelſpath und Bergkryſtall näher unterſucht hat, nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität beſitzen.

Eine Scheibe, die ſenkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen verſehenen, cylindriſchen Holzſtammes geſchnitten iſt, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Faſern des Holzes) eine andere Elaſticität, als in einer darauf ſenkrechten Ebene, und ſelbſt in dieſer Ebene kann die Elaſticität nach verſchiedenen Richtungen verſchieden ſeyn. Savart fand ſie mittelſt Stäben aus einem Buchenſtamme in einer auf die Faſern ſenkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf ſenkrechten = 2.25, in der Richtung der Faſern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen, gleichförmig dicken Metallſcheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einſchnitte und ſchwächt dadurch nach der Richtung derſelben ihre Elaſticität; ſo kann eine aus zwei aufeinander ſenkrechten Durchmeſſern beſtehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, ſondern es iſt immer eine Knotenlinie mit den Einſchnitten parallel, eine andere darauf ſenkrecht, und will man mit Gewalt dieſe Knotenlinie an

einer anderen Stelle erzwingen, ſo gehen die Durchmeſſer in hyperboliſche Curven über. Demnach zeigen dieſe Durchmeſſer an ungleichförmig elaſtiſchen Platten immer die Stellen an, wo die Elaſticität am größten oder am kleinſten iſt. Eine Holzſcheibe ſenkrecht auf die Faſern geſchnitten, nimmt meiſtens an jeder Stelle eine diametrale Knotenlinie dieſer Klangfigur an, iſt alſo rings um das Centrum der Jahrringe gleich elaſtiſch, eine ſchief gegen die Faſern oder mit ihnen parallel geſchnittene thut dieſes nicht, iſt alſo auch nicht gleichförmig elaſtiſch. Platten aus Bergkryſtall ſenkrecht auf die Hauptaxe des Kryſtalls geſchnitten, erſcheinen rings um die Axe gleich elaſtiſch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elaſticitäten, noch mehr eine ſchief gegen die Axe geſchnittene. Doppelſpath ſtimmt faſt ganz mit dem Bergkryſtall überein, und nur darin beſteht zwiſchen beiden ein weſentlicher Unterſchied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkryſtalle die Axe der größeren, beim Kalkſpath aber die der kleineren Elaſticität iſt. (Savart in Pogg. Ann. 16. 206.)

364. Ein elaſtiſcher Körper kann nicht blos in der atmoſphäriſchen Luft, ſondern auch in jedem anderen Gaſe, ja ſogar in tropfbaren Flüſſigkeiten, wie z. B. in Weingeiſt, in Öhl, in Queckſilber ꝛc. oscilliren. Man erregt in letzteren die Schwingungen mittelſt eines Glasſtabes, welchen man an den in Oscillationen zu verſetzenden Körper ſo ankittet, daß ein Theil davon aus der Flüſſigkeit herausragt, in die man jenen Körper getaucht hat, und dieſen Stab ſtreicht. Bei Verſuchen dieſer Art hat man erfahren, daß das Mittel durch ſeine Trägheit und ſeinen Widerſtand auf die Schnelligkeit der Schwingungen, mithin auch auf die Tonhöhe Einfluß hat, welcher um ſo größer iſt, je größer die in Bewegung geſetzte Maſſe des Mittels iſt. Daher erfolgen longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anſpruch nehmen, faſt in allen Flüſſigkeiten auf gleiche Weiſe und die Tonhöhe erleidet in denſelben keine merkliche Veränderung, während transverſale Schwingungen von dem Mittel, worin ſie Statt finden, in hohem Grade abhängen und bei übrigens gleichen Umſtänden von deſto tieferen Tönen begleitet ſind, je dichter das Mittel iſt. Übrigens bilden ſich in jedem Mittel, ſelbſt wenn es tropfbar flüſſig iſt, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann ſie eben ſo wie bei Schwingungen, die in der Luft vor ſich gehen, durch Sand, den man durch die Flüſſigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, ſichtbar machen.

F. Schwingungen mittönender Körper.

365. Die ſchwingende Bewegung ſchallender Körper kann ſich denen, mit welchen ſie in Berührung ſtehen, nicht blos ſo mittheilen, daß hierdurch der Schall fortgepflanzt wird, ſondern auch ſo, daß ſie ſelbſt mitklingen und den Schall verſtärken. Die Geſetze dieſer Mittheilung ſind äußerſt wichtig; denn ſie ſpielen bei unſeren Saiteninſtrumenten und überhaupt in allen jenen Fällen, wo es uns um Verſtärkung des urſprünglichen Schalles zu thun iſt, eine große Rolle, und nur durch ihre Kenntniß kann man zu einem ganz ſicheren Verfahren geleitet werden, um ſolche Inſtrumente in möglichſter Güte zu verfertigen und dabei weniger vom Zufalle abzuhängen, als es bis jetzt leider noch der Fall iſt.

366. Von der Wirklichkeit der Mittheilung hörbarer Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigſten materiellen Beſchaffenheit und von verſchiedenem Aggregationszuſtande überzeugt man ſich durch mehrere Erfahrungen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen Schlag in Bewegung und hält ſie dann frei in der Hand, ſo hört man nur einen äußerſt ſchwachen Ton; ſetzt man ſie aber auf einen Kaſten von dünnem, elaſtiſchen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, ſo erſcheint dieſer Ton viel ſtärker und anhaltender. Es müſſen alſo die Holzfaſern des Kaſtens in Bewegung geſetzt worden ſeyn. Der Ton der ſogenannten Mundharmonica (Maultrommel) iſt außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erſcheint er hinreichend ſtark und hörbar. Selbſt eine Stimmgabel tönt viel ſtärker, wenn man ſie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt ſich einer geſpannten Membrane durch die Luft mit und ſetzt darauf geſtreuten Sand in Bewegung, ja ſogar ein im Waſſer erregter Schall bringt eine darauf ſchwimmende Membrane in eine ſchwingende Bewegung. Dieſe Mittheilung findet auch unter einem ganzen Syſteme von Körpern Statt und es kann auch ein Mittönender einen anderen mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in deſſen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, ſo vernimmt man deutlich, daß die Violine mitklingt und daß ſich ihre Saiten, wenn ſie nicht in ihrer ganzen Länge dieſen Ton geben können, in ſolche Theile abtheilen, die dazu geſchickt ſind. Man kitte auf eine kurze Glasſtange zwei kreis-

förmige Scheiben, ſo daß ihre Flächen auf der Axe der Stange ſenkrecht ſtehen, halte den Stab vertical und beſtreue beide Scheiben mit feinem, trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieſer Scheiben einen Ton, ſo ordnet ſich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht blos auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, ſondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entſteht dieſelbe Klangfigur. In unſeren Violinen und allen Inſtrumenten, welche Reſonanzböden haben, wird die Luft unter dem Reſonanzboden durch den ſchallenden Körper mittelſt des Bodens in Bewegung geſetzt. Dieſem Mittönen der Körper iſt es zuzuſchreiben, daß die Stimme eines Menſchen in einem Zimmer ausgiebiger iſt, als im Freien, daß eine Muſik ſich in einem Orte beſſer ausnimmt als in einem anderen. Daß an manchem Platze einige Töne mehr verſtärkt werden als andere und daß ſelbſt an neuen muſikaliſchen Inſtrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder ſelbſt zu geben im Stande iſt, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen ſind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327.)

367. Um den innern Verlauf der Sache beim Entſtehen mittönender Bewegungen einzuſehen, denke man ſich einen begrenzten Körper, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieſer Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demſelben eine fortſchreitende Welle. Dieſe erweitert ſich bis zum Ende des Bretes, wird daſelbſt in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzet, der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des ſchallenden Körpers erregten Wellen begegnet und ſie durchkreuzt, jene ſtehende Schwingung, in welcher das Mittönen beſteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieſes Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weiſe zu ſchwingen, die ihm im freien Zuſtande ganz fremd iſt. Daher entſtehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber dieſe Figuren ſind oft von den an ſelbſttönenden Körpern vorhandenen weſentlich verſchieden und werden Reſonanzfiguren genannt. Dieſe Unterſchiede beſtehen darin, daß die Knotenlinien der Reſonanzfiguren nicht ſo regelmäßig ſind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwiſchenräume

nicht immer aliquote Theile der Größe der ſchwingenden Fläche ſind, daß eine Knotenlinie auch mitten im ſchwingenden Theile enden kann und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen ſchwingender Theile ſind, ſondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisſcheiben von einerlei Materie, geben die Klangfigur 169.*a*, die man auch in jeder Scheibe für ſich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entſteht aber die Figur 169.*b*, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem anderen deſto mehr modificirt, je größer die angehängte Maſſe iſt. Dieſes zeigt beſonders folgender Verſuch: Verbindet man zwei Kreisſcheiben von ſehr verſchiedener Größe mit einander ſo, daß beide in derſelben Ebene liegen, und ſtreicht dann die größere mit einem Bogen, ſo entſteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für ſich ſelbſt zukommt; ſtreicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, ſo erhält man eine Figur wie 169.*c*, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für ſich erzeugt werden kann.

368. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen ſich alle Theile nach Richtungen, die unter ſich und auch mit jenen parallel ſind, welche den urſprünglich ſchwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen feſten Wirbel, mit dem anderen an eine gläſerne oder metallene, länglichte Platte befeſtigt, die ſelbſt am anderen Ende eingeklemmt iſt, wie Fig. 170 zeigt, und hierauf mittelſt eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte ſenkrechten Richtung in transverſale Schwingungen verſetzt; ſo ſchwingt auch die Platte nach derſelben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgeſtreuter Sand ſichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man ſolche Schwingungen an einer vertical geſpannten Saite hervor und hält eine horizontale Glasplatte daran, ſo ſieht man auf dieſer den aufgeſtreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, ſondern nur horizontal fortgleiten, um ſich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenſtriches ſenkrecht ſtehen. Recht auffallend zeigt ſich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Verſuch, den Savart zuerſt anſtellte. Man befeſtige in der Mitte eines, mit einer geſpannten Saite in Verbindung ſtehenden Glasſtreifens *A* (Fig. 170*) ſenkrecht darauf einen Strei-

fen, an dieſen wieder einen mit dem erſten parallelen u. ſ. w. Wird nun *A* mittelſt der Saite in transverſale Schwingungen verſetzt, ſo ſchwingen auch alle damit parallelen Stücke transverſal, alle darauf ſenkrechten aber longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn *A* longitudinal ſchwingt.

Die bisher beſprochene Mittheilung der Bewegung geſchieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen *b*, *b″* von gleicher Natur und von gleichen Dimenſionen, eben ſo auch *b′* und *b‴* unter einander, aber von erſteren verſchieden; ſo geben *b* und *b″* dieſelben Klangfiguren und eben ſo auch *b′* und *b‴*, aber die von *b* und *b′* ſtimmen nicht mit einander überein, wiewohl ſie von derſelben Quelle, nämlich von *A* ausgegangen ſind; ja ſelbſt das Geſetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenſchwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueſte beobachtet; denn wenn alle Streifen *b*, *b*, *b″*, *b‴* einander gleich ſind und longitudinal ſchwingen, ſo ſieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieſelbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinſehen, eine verſchiedene Anordnung derſelben zeigen.

369. Wheatſtone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz paſſend, Polariſation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Reſonanzboden ſteht; ſo theilt ſich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinkelig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, ſo werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken ſenkrecht ſteht. Dreht man die Stimmgabel ſucceſſiv aus einer Lage in die andere, ſo nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung viermal ab und zu. Biegt man den Draht, während die darauf ſtehende Gabel den ſtärkſten Ton gibt, ſo nimmt die Tonſtärke ab, iſt am ſchwächſten, wenn der Stab unter 90° gebogen iſt, wächſt wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel ſind. (*Ann. de Ch.* 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptſächlich die Verſtärkung des Schalles, welche man Reſonanz zu nennen

pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unſer Gehör mit den directen zuſammenfallenden Wellen daran nicht ſelten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beſchaffen ſeyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichſt ſtarke, dauernde Reſonanz habe, daß zur Erreichung dieſes Zweckes die Wände möglichſt glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl ſeyn ſollen und daß man das Volumen des Raumes wohl zu berückſichtigen habe. Bei muſikaliſchen Inſtrumenten mit einem Reſonanzboden kommt es auf die Geſtalt und Größe des eingeſchloſſenen Luftraumes und auf die Lage ſeiner Öffnungen vorzüglich an.

G. Empfindung des Schalles.

370. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke beſtimmt iſt, iſt das Ohr. Man theilt es in das äußere und das innere Ohr. Das äußere beſteht aus der Ohrmuſchel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfell, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerve. Die Ohrmuſchel iſt ein knorpeliger muſchelförmiger Anſatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieſer iſt ein Anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Canal, der durch das Trommelfell geſchloſſen iſt. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher ſich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt ſich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachſen, der andere aber in den Ambos eingelenkt iſt. Der Ambos iſt mit ſeiner Spitze durch das Sylviſche Bein mit dem Steigbügel verbunden, ſo daß alle dieſe Knöchelchen gleichſam ein Hebelſyſtem bilden. Sie ſind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung verſehen; ein am Hammer befeſtigter Muskel dient zum Spannen des Trommelfells und heißt darum auch der Spanner. Die Trommelhöhle ſteht durch das ſogenannte ovale und runde Fenſter mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenſter iſt durch die Fußplatte des Steigbügels geſchloſſen, das runde Fenſter aber mit einem Häutchen überſpannt, das auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Euſtachiſche Ohrtrompete, ſie iſt darum ſtets mit Luft von gleicher Spannung mit der

atmoſphäriſchen und von beſtändiger Temperatur verſehen. Das Labyrinth beſteht aus dem mit dem ovalen Fenſter verſehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entſtehenden und wieder dahin zurückkehrenden Canälen und aus der Schnecke. Dieſe hat 2½ Windungen und iſt der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derſelben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenſter an. Beide ſind mit Nervenſubſtanz verſehen; übrigens iſt das ganze Labyrinth mit einer wäſſerigen Flüſſigkeit erfüllt.

Außer dem Menſchen haben nur noch viele vierfüßige Säugthiere wahre äußere Ohren, bei den im Waſſer lebenden oder jenen, die darin leben können, iſt der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verſchloſſen, bei den Vögeln erſetzt die äußerſt regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang das äußere Ohr. Die vollkommneren Thiere wie die Säugthiere, die Vögel, viele Amphibien haben ein Trommelfell, die Euſtachiſche Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fiſche beſteht blos aus drei ſehr anſehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmaſſe haben wahrſcheinlich kein Gehörorgan.

371. Über die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes iſt man keineswegs ſo in Kenntniß, wie es zu wünſchen wäre. Am wahrſcheinlichſten iſt Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuſchel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muſchel ſelbſt in Schwingungen verſetzt und hat die Beſtimmung, den ankommenden Schallwellen ſtets dieſelbe Fläche darzubieten und ſo die Intenſität des Schalles von der Neigung der Schallſtrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfell, dieſes wird in Bewegung geſetzt und theilt dieſelbe mittelſt des Hammers den anderen Gehörknöchelchen mit, ſo daß durch ſie jede Bewegung des Trommelfelles zum ovalen Loche fortgepflanzt wird und von da bis zum Gehörnerve. Der Spanner ſchützt durch ſeine Wirkung das Trommelfell gegen zu ſtarke Eindrücke. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieſelbe Elaſticität behalten und das Ohr die ſchon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es ſcheint auch, als diene ſie zum Mittönen, wie die in einem Reſonanzkaſten eingeſchloſſene Luft.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die ſchwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerve, allein ſie kann auch durch die feſten Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne anſetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Claviers wahrnehmen, wenn ſie einen Stab an das Clavier und zugleich an den Kopf halten.

372. Durch das Ohr vernimmt man eigentlich nur die Richtung und Stärke einer Reihe von Stößen und die Geſchwindigkeit, mit der ſie auf einander folgen. Von der Richtung dieſer Stöße hängt unſer Urtheil über die Lage des ſchallenden Körpers ab, welches daher, wenn nicht andere Puncte darauf Einfluß nehmen, ſtets unrichtig ausfallen muß, ſo oft ein Schallſtrahl auf ſeinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird; daher es ſchwer iſt, in einem Walde die Quelle eines beſtimmten Schalles zu finden. Die Stärke der Stöße beſtimmt die Intenſität des Schalles, und alles, was jene modificirt, bringt auch eine Änderung in dieſer hervor. Die Geſchwindigkeit der auf einander folgenden Stöße beſtimmt die Tonhöhe. Doch würden ſelbſt die ſchnellſten Schwingungen keinen angehaltenen Ton erzeugen können, wenn die Empfindung nicht die Stöße, wodurch ſie erzeugt wird, überdauerte und ſo gleichſam einen Stoß mit dem anderen verbände; es iſt überhaupt zur Entſtehung eines vollen anhaltenden Tones unerläßlich, daß die auf das Gehörorgan geſchehenden Eindrücke bis auf eine beſtimmte Grenze in einander fließen. Erfolgen mehrere Syſteme von Stößen zugleich, ſo bringen ſie eine deſto angenehmere Empfindung hervor, nach je wenigeren Stößen zwei oder mehrere zuſammentreffen, oder in je einfacherem Verhältniſſe ihre Schwingungszahlen ſtehen. Ein einfaches Verhältniß dieſer Art wird als Conſonanz, ein weniger einfaches als Diſſonanz wahrgenommen. Dieſes Zuſammentreffen zweier Schläge von zwei verſchiedenen Tönen macht auf das Gehör den Eindruck eines für ſich beſtehenden Tones und bringt eine Empfindung hervor, als klänge noch ein dritter Ton mit, welcher daher ganz ſubjectiv iſt. Schlägt man z. B. den Grundton und die große Terz an, als zwei Töne, deren Schwingungszahlen ſich wie 4:5 verhalten; ſo fällt jeder vierte Stoß von Seite des erſteren mit jedem fünften von Seite des letzteren zuſammen, und es erſcheint eine Reihe ſtärkerer Stöße im Verhältniſſe 1:4 zum Grundton. Daher iſt der mitklingende ſubjective Ton um zwei Octaven tiefer, als jener

Grundton. Man pflegt dieſen Ton Combinationston, auch Tartiniſchen Ton zu nennen. Die weitere Beſchaffenheit des ſchwingenden Körpers oder ſeiner Schwingungen kann durch das Gehör nicht wahrgenommen werden. (Purkinje in Kaſt. Arch. 7. 39. Muncke ebendaſ. 7. 1. Home in Gilb. Ann. 44. Savart in *Ann. de Ch.* ꝛc. 25. 5. Sömmering's Abbildung des menſchlichen Hörorgans. Frankfurt, 1805.)

Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorgans deutliche Vorſtellungen zu verſchaffen, leiſten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaſchy verfertigten Gipspräparate vortreffliche Dienſte.

Über dieſes Kapitel iſt vorzüglich zu empfehlen und als Repertorium von Chladni's akuſtiſchen Entdeckungen anzuſehen: Chladni's Akuſtik. Leipzig, 1802. 4. Desſelben neue Beiträge zur Akuſtik. Leipzig, 1817. 4. Noch vortrefflicher iſt die von ihm ſelbſt veranſtaltete franzöſiſche Bearbeitung: *Traité d'Acoustique par E. F. Chladni. Paris,* 1809. Viel Lehrreiches enthält Weber's Wellenlehre, zweiter Haupttheil. Die akuſtiſchen Rechnungen nebſt den nöthigen Vorſichten bei Anſtellung akuſtiſcher Verſuche ꝛc. enthält der Supplementband S. 332—376.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erster Abschnitt.

Licht.

Erstes Kapitel.

Das Licht überhaupt.

1. Wenn die Sonne unter dem Horizonte ſteht, Wolken die Geſtirne verbergen und auch kein künſtliches Licht vorhanden iſt; ſo ſind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung ſtehen, völlig abgeſchnitten. Das Licht iſt es alſo, durch das wir Vorſtellungen von entfernten Gegenſtänden bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Es wäre die Wohlthat des Lichtes ſchon unermeßlich, wenn es auch zu nichts weiter diente, als uns Gegenſtände ſichtbar zu machen; aber es bringt noch viele andere Wirkungen hervor. Das herrliche Farbenſpiel der im tropiſchen Himmelsſtriche wachſenden Pflanzen, welches ſie dem intenſiveren Sonnenlichte verdanken müſſen, weil ſie es verlieren, wenn ihnen das Licht entzogen wird; der Verluſt der ſchönen, grünen Farbe vieler Gewächſe, wenn man ſie mit undurchſichtigen Körpern bedeckt; der Umſtand, daß ſich die in Zimmern gezogenen Pflanzen ſtets nach der lichteren Seite wenden, ja ſogar Knie machen, um dem Lichte zu begegnen; daß Menſchen alle Lebensfülle und das Roth der Geſundheit einbüßen, wenn ſie in dunklen Örtern wohnen, beweiſen ſattſam den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organiſchen Welt. Vorzüglich wichtig ſind die chemiſchen Veränderungen, welche das Licht und zwar beſonders das intenſivſte unter allen, das Sonnenlicht, in verſchiedenen Körpern hervorbringt. Es verwandelt die Salpeterſäure in ſalpetrige Säure und färbt ſie daher roth oder gelb, ſcheidet Gold aus ſeinen Verbindungen theils in metalliſcher Geſtalt, theils als Oxyd von minderem Grade, ſtellt Silberchlorid entweder zu metalliſchem

Silber her, oder ſchwärzt es, es röthet den Phosphor, bewirkt an einem Gemiſche aus gleichen Theilen Waſſerſtoffgas und Chlorgas eine Verpuffung, bleicht endlich und zerſtört die meiſten Farben ꝛc. ꝛc. Im Allgemeinen werden oxydirte Körper durch das Licht wieder in ihren natürlichen Zuſtand zurückgeführt, wobei meiſtens der Sauerſtoff als Gas erſcheint. Viele Wirkungen des Sonnenlichtes kommen aber auch auf Rechnung der Wärme, die es erzeugt, weil ſie ſich auch durch bloße Wärme ohne Licht hervorbringen laſſen, und müſſen daher wohl von den anderen unterſchieden werden, bei denen das Licht als ſolches wirkſam iſt.

2. Über die Natur des Lichtes ſind wir ganz im Dunkel, wir können es durch keinen Sinn wahrnehmen, es macht uns zwar andere Gegenſtände ſichtbar, kann aber ſelbſt nicht geſehen werden; dafür ſind wir aber durch die genaue Kenntniß der Geſetze ſeiner Wirkungsweiſe entſchädigt. Indeß hat man ſich doch von jeher bemühet, durch hypothetiſche Vorausſetzungen die Natur des Lichtes kennen zu lernen. Von ſolchen Hypotheſen haben vorzüglich zwei die Oberhand erhalten, weil ſie die Affection der Sehwerkzeuge auf eine mit der Einwirkung auf die übrigen Sinne analoge Art erklären. Die für uns begreiflichen Einwirkungen auf unſere Sinne geſchehen nämlich durch materielle Berührung der Sinnesorgane. Man kann daher annehmen, daß beim Geſichtsſinne dasſelbe Statt finde und daß ein Ding nur dann für uns ſichtbar werde, wenn es unſere Augen durch Berührung afficirt. Da aber das Auge in unermeßliche Fernen reicht, ſo muß entweder von ſichtbaren Körpern, ſo wie von den riechenden, etwas ausſtrömen, das von ihnen in unſere Augen gelangt und in denſelben die Empfindung des Sehens hervorbringt, oder es muß ſich die Bewegung des leuchtenden Körpers durch ein materielles Mittel bis zu unſeren Sehwerkzeugen fortpflanzen, wie dieſes bei ſchallenden der Fall iſt und ſo wieder in uns die Empfindung des Sehens hervorbringen. Erſteres wird in der ſogenannten Emanationshypotheſe, letzteres in der Vibrationshypotheſe angenommen; zu erſterer ſchien ſich Newton hinzuneigen, letztere wurde von Descartes, Huyghens und Euler ausgebildet und in der neueſten Zeit von den größten Optikern, z. B. von Young, Fresnel, Fraunhofer in Schutz genommen.

3. Nach der Emanationshypotheſe iſt das Licht eine Materie eigener Art, welche von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten

ausgeſendet wird. Nach der Vibrationshypotheſe wird vorausgeſetzt, ein leuchtender Körper befinde ſich, gleich einem ſchallenden, in ſtehenden Schwingungen und ſetze dadurch eine den Weltraum erfüllende Flüſſigkeit (Äther) in fortſchreitende Schwingungen, die, wenn ſie unſer Auge treffen, in dasſelbe eindringen und an deſſen Hintergrunde die Empfindung des Sehens erzeugen. Dieſe Vorausſetzungen machen das Fundament der genannten Hypotheſen aus, müſſen aber, um den Lichterſcheinungen zu entſprechen, noch durch beſondere Hilfshypotheſen näher beſtimmt werden. So muß man in der Emanationshypotheſe noch beſonders annehmen, der ausſtrömende Lichtſtoff beſtehe aus ungemein feinen Theilchen, die dem Geſetze der Trägheit, nicht aber dem der Schwere unterliegen, wovon nicht alle dieſelbe Maſſe haben und ſowohl auf einander als auch auf die irdiſchen Körper anziehend und abſtoßend wirken. Die Vibrationshypotheſe fordert eine beſtimmte Beſchaffenheit des Äthers und der leuchtenden Schwingungen. Erſterer muß ungemein fein ſeyn, alle Zwiſchenräume durchdringen, aus Theilen beſtehen, die ſich ſehr leicht verſchieben, aber nur ſehr ſchwer einander nähern laſſen, endlich von anderen Körpern angezogen und dadurch in ſeiner ſpecifiſchen Elaſticität gleich anderen abſorbirten Flüſſigkeiten beſchränkt werden. Die Schwingungen leuchtender Körper dürfen nicht, wie die der ſchallenden in Richtungen erfolgen, welche ihrer Fortpflanzungsrichtung parallel ſind, ſondern in auf dieſelbe ſenkrechten und die Fortpflanzung erfolgt daher auf andere Weiſe als beim Schall. Iſt *m* (Fig. 171) ein Maſſetheilchen eines leuchtenden Körpers, das ſich beim Vibriren abwechſelnd von *o* nach *n* und wieder von *n* nach *o* bewegt und *a, b, c, d, e, f* Äthertheilchen, welche mittelſt anziehender Kräfte ſowohl mit einander als mit *m* verbunden ſind; ſo werden durch die Bewegung der Maſſe von *n* gegen *o* zuerſt die Äthertheile *a*, *b*, *c* nach *α*, *β*, *γ* gebracht, weil aber dieſe durch Kräfte mit den Theilchen *d*, *e*, *f* zuſammenhängen, ſo müſſen auch letztere eine Lage anzunehmen ſuchen, bei der ſie mit den vorigen wieder im Gleichgewichte ſtehen, d. h. in die Lage *δ*, *ε*, *ξ* kommen. Die Bewegung dieſer Theile erzeugt eine ähnliche der vor ihnen liegenden und ſo muß ſich die Bewegung im Äther nach einer auf der Schwingungsebene des Theilchens *m* ſenkrechten Richtung fortpflanzen. So wird es kommen, daß die Äthertheile, welche im Zuſtande der Ruhe in der geraden Linie *mp* (Fig. 172) liegen, deren Länge dem Wege gleich iſt, durch welchen ſich die Be-

wegung des Äthers während einer Schwingung des leuchtenden Körpers fortpflanzt, aus dieſer Linie in der darauf ſenkrechten Richtung herausrücken und in die ſchlangenförmige Curve *mqrsp* kommen. *mp* iſt da die Länge der Lichtwelle im Äther und jede von einem Puncte der Linie *mp* ſenkrecht auf ihr bis zur Curve gezogenen Gerade bezeichnet die halbe Excurſionsweite des Äthertheilchens für dieſe Welle. Sollten in der Richtung der Schwingungen des leuchtenden Körpers Äthervibrationen entſtehen, ſo müßte der Äther eine Compreſſion erleiden, wozu er ſeiner Natur nach nur ſehr ſchwer gebracht wird.

Eine weitere Ausführung beider Hypotheſen und die dazu gehörigen Rechnungen enthält der Supplementband S. 522—576.

4. Von der Zeit an, als Newton ſeine wunderbaren Forſchungen über die Eigenſchaften des Lichtes anſtellte, bis vor wenigen Jahren hatte das Emanationsſyſtem die Meinungen der meiſten Phyſiker für ſich und das Vibrationsſyſtem wurde weder eines aufmerkſamen Blickes noch einer ernſten Widerlegung gewürdigt. Bei dem heutigen Stande der Dinge darf man aber dieſe Anſicht nicht mehr ſo geringſchätzig behandeln, weil ſie die meiſten optiſchen Phänomene aus der bloßen Natur der vibrirenden Bewegung vollſtändig erklärt und nur da Lücken läßt, wo die bisher bekannten Kunſtgriffe der mathematiſchen Analyſis nicht hinreichen, um die Geſetze der vibrirenden Bewegung darzuſtellen; während ſich aus der Emanationshypotheſe viele Erſcheinungen nur mit Zwang und Hilfshypotheſen, die aller Analogie zuwider ſind, erklären laſſen, andere aber ſelbſt mit allen dieſen Hilfsmitteln durchaus keine Erklärung darin finden.

5. Die Anhänger der Emanationshypotheſe hielten es lange für eine der größten Schwierigkeiten, welche der Zuläſſigkeit der Vibrationshypotheſe im Wege ſteht, daß man an den Himmelskörpern, die ſich nach dieſer Anſicht in einem widerſtehenden Mittel befinden, keine Abnahme der Bewegung wahrnimmt. Dieſer Einwurf konnte in den Augen desjenigen nur von geringem Gewichte ſeyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit ſich ein Körper in einem Fluidum bewegen kann, das ungemein fein iſt und durch die kleinſten Zwiſchenräume ungehindert geht, aber auch dieſes wenige Gewicht hat er verloren, ſeitdem man an dem von Encke berechneten Kometen wirklich eine Retardation bemerkt hat, die auf ein widerſtehendes Mittel ſchließen läßt. Daß dieſes die Bewegung der Pla-

neten nicht merklich verzögere, kommt auf Rechnung ihrer viel grö=ßeren Dichte. Allein abgeſehen hiervon, ſo ſteht deßhalb doch dieſe Hypotheſe der Emanationshypotheſe nicht nach, weil nach letzterer der Raum mit allem Lichtſtoffe angefüllt ſeyn muß, der von der Sonne und dem unendlichen Heere der Fixſterne ausſtrömen ſoll. Nimmt man auch an, in einem Strahle, der von einem Puncte der Sonne ausgeht, ſey ein Lichttheilchen vom anderen mehrere tauſend Meilen entfernt; ſo muß doch der dabei entſtehende Zwiſchenraum wieder vom Lichte anderer Himmelskörper erfüllt ſeyn, deren ſo viele Millionen auf einmal Licht ausſenden. Dazu kommt noch, daß dieſer Lichtſtoff ſich immerwährend anhäufen muß. Will man auch dieſen widrigen Umſtänden dadurch begegnen, daß man annimmt, das Licht werde von Körpern abſorbirt; ſo kann man doch nicht behaupten, ſie ſeyen hierin unerſättlich; ſind ſie es aber nicht, ſo müſſen ſie das abſorbirte Licht wieder frei laſſen und auf dieſe Weiſe die Schwierigkeit auf den vorigen Grad erheben. Die chemiſchen Wirkungen des Lichtes, welche viele mit der Vibrationshypotheſe ganz unvereinbarlich finden wollen, laſſen ſich aus ihr eben ſo gut, wie aus der Emanationshypotheſe erklären. Denn nach der Emanationshypotheſe erklärt man ſie aus einer Verwandtſchaft des Lichtſtoffes zu den Körpern. Nimmt man auch eine ſolche Verwandtſchaft zwiſchen Körpern und dem Äther an und noch dazu, daß ihre chemiſche Verbindung durch die vibrirende Bewegung befördert werde, ſo ſind die chemiſchen Verbindungen des Lichtes begreiflich; ferner hat man noch zu bedenken, daß dieſe Wirkungen von der Wirkſamkeit der den kleinſten Körpertheilchen eigenen Kräfte abhängen, welche durch die abwechſelnden Annäherungen und Entfernungen der Theile, wie ſie bei der vibrirenden Bewegung Statt finden, wohl eben ſo begünſtigt werden können, wie wir dieſes an Dünſten ſehen, die durch bloßes Zuſammendrücken in tropfbare Flüſſigkeiten übergehen. Übrigens hält es aber ſehr ſchwer, die chemiſchen Wirkungen des Lichtes nach der Emanationshypotheſe zu erklären, ſeit Arago die Entdeckung gemacht hat, daß an der Durchkreuzungsſtelle zweier Lichtſtrahlen unter gewiſſen Umſtänden keine chemiſche Wirkung eintrete. Nach dem Sinne der Vibrationshypotheſe kann dieſe auch nicht eintreten, ſobald die ſich kreuzenden Welltheile eine entgegengeſetzte Bewegung haben.

6. Leuchtende Körper ſind: die Sonne, die Fixſterne und vielleicht auch die Cometen, brennende und phosphorescirende Stoffe.

Manche ſind ſchon von ſelbſt phosphorescirend, wie z. B. faules Holz und ſelbſt lebende Pflanzen, todte Seefiſche, die Johanneswürmchen und die Johanneskäfer, der Surinamiſche Laternenträger ꝛc. ꝛc.; andere werden es erſt durch Erwärmen, wie z. B. der Bologneſer Leuchtſtein (zerſtoßener und durch Tragant zu Paſten geformter gebrannter Schwerſpath), Cantons und Balduins Phosphor, viele Flußſpathe, der Witherit ꝛc., wieder andere phosphoresciren, wenn ſie einige Zeit dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren, wie z. B. die meiſten Kalkſalze, endlich werden viele durch Electricität phosphorescirend, wovon in der Folge mehr. (Heinrich über die Phosphorescenz. Nürnb. 1811—1820 in 5 Abth. Schweigg. J. 14. 135; Kaſt. Arch. 5. 88. Zeitſch. 2. 80; Gehlers Wörterbuch, neu bearbeitet, Artikel: Licht.)

7. Ein leuchtender Körper muß die Wirkung des Lichtes rings um ſich verbreiten, weil er von allen Seiten geſehen werden kann; dasſelbe thun auch erleuchtete Körper, jedoch geht die Wirkung des Lichtes nicht von ihnen unmittelbar aus, weil ſie kein eigenes Licht haben, ſondern ſie werfen einen Theil des auffallenden Lichtes zerſtreut zurück und werden dadurch ſichtbar, reflectiren aber auch einen Theil des auffallenden Lichtes regelmäßig nach einer beſtimmten Richtung. Dieſer iſt von dem Zerſtreuten wohl zu unterſcheiden.

8. So lange das Licht in einem Mittel von gleicher materieller Beſchaffenheit bleibt, erfolgt ſeine Wirkung ſtets in einer geraden Linie. Davon überzeugt man ſich durch unzählige Erfahrungen, von denen ich nur herausheben will, daß ein leuchtender Punct, welcher in der Verlängerung paralleler und in einer Ebene geſpannter Seidenfäden liegt, dem Auge verſchwindet, das ſich in derſelben Ebene befindet, aber alſogleich erſcheint, wenn man das Auge nur im geringſten aus dieſer Ebene verrückt, und daß ein ſolcher Punct durch feine, in einer geraden Linie liegende Löcher geſehen werden kann, aber alſogleich dem durch dieſe Löcher ſehenden Auge verſchwindet, wenn eines derſelben nur im mindeſten aus der geraden Linie gerückt wird. Die geradlinige Fortpflanzung läßt ſich aus der Vibrationshypotheſe genau erklären; denn in der Natur dieſer Bewegung liegt es, daß die Vibrationen, die auch nur nach einer Richtung an einem Körper Statt haben, zwar nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit fortgepflanzt werden; allein die Geſchwindigkeit der vibrirenden Theile, von der die Intenſität der dadurch bewirkten Empfindung abhängt, iſt nach den Richtun-

gen, die nicht auf jener der urſprünglichen Oscillation ſenkrecht ſtehen, verſchwindend klein gegen die, welche in dieſer ſenkrechten Richtung Statt findet, und zwar um ſo mehr, mit je größerer Geſchwindigkeit die Fortpflanzung der Bewegung erfolgt. Iſt daher *A* (Fig. 173) ein vibrirender (leuchtender) Punct, deſſen Vibrationen ſich rings um ihn, daher auch nach *AB*, *AC* fortpflanzen, *BC* eine Öffnung; ſo wird die Intenſität der Bewegung der ſchwingenden Theile innerhalb *BD*, *CE* ſo groß ſeyn gegen die außerhalb dieſer Linien befindliche, daß letztere (beſondere Fälle ausgenommen, wovon Kap. 7 handelt) für unſere Empfindung ganz verſchwindet, und daher wird nur der iſolirte Lichtbüſchel *BCDE* durch die Öffnung dringen. Nach der Emanationshypotheſe liegt die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes in der Natur der durch eine momentan wirkende Kraft hervorgebrachten Bewegung.

Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes haben einige nicht mit dem Geiſte der Vibrationshypotheſe vereinbarlich finden wollen und ſich darauf berufen, daß man, wäre dieſe Anſicht richtig, durch ein krummes Rohr müßte ſehen können, ſo wie man durch ein ſolches hört und daß ein iſolirter, in ein verfinſtertes Gemach eindringender Lichtſtrahl das ganze Zimmer erleuchten müßte, ſo wie ein durch eine Öffnung in ein Zimmer hereingeſprochenes Wort im ganzen Zimmer gehört werden kann. Allein dieſes beruht auf Mißverſtändniſſen. Der Schall geht in demſelben Mittel ſtets nur geradlinig fort und daß man durch ein krummes Rohr hören, aber nicht ſehen kann, liegt darin, weil ein ſolches Rohr wohl die zur regelmäßigen Reflexion der Schallſtrahlen, aber nicht die zur Reflexion der Lichtſtrahlen nöthige Glätte hat; die allſeitige Verbreitung eines vor einer Öffnung erregten Schalles rührt von der Schallfortpflanzung durch feſte Körper, wie Mauern und Wände ſind, her. Es gibt faſt keinen ſchalldichten, aber viele lichtdichte (undurchſichtige) Körper.

9. Nach dieſem Geſetze kann man ſich die Richtung der Wirkung des Lichtes durch eine gerade Linie vorſtellen und jede Linie, die aus einem leuchtenden Puncte gezogen gedacht wird und den Weg des Lichtes bezeichnet, einen Lichtſtrahl nennen. Nach dem Geiſte der Vibrationshypotheſe iſt ein Lichtſtrahl der Weg, in welchem ſich die Bewegung eines Theilchens fortpflanzt. Parallele Strahlen desſelben leuchtenden Punctes gehören zu einer Welle, deren Mittelpunct unendlich weit entfernt iſt und die daher als eben angeſehen werden kann, divergirende zu einer ſolchen, deren Centrum eine endliche Entfernung hat und die ſich beim Fort-

ſchreiten erweitert, convergirende zu einer Welle, die ſich im Fortſchreiten ſtets verenget.

10. Römer entdeckte durch aſtronomiſche Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge. Man hatte nämlich ſchon vor ihm die Erfahrung gemacht, daß die Trabanten Jupiters von Zeit zu Zeit in deſſen Schatten eintreten und dann für uns verſchwinden, ja man war ſo glücklich, die Zeit des Ein- und Austrittes vorher beſtimmen zu können. Dieſe Vorherbeſtimmung fand Römer aber nur dann der Wahrheit gemäß, wenn ſich die Erde in mittlerer Entfernung vom Jupiter befand, war ſie demſelben näher, ſo erfolgte ſowohl der Eintritt in den Schatten als der Austritt aus demſelben früher, war ſie ferner von ihm, ſo erfolgten Ein- und Austritt ſpäter und die Zeitdifferenz war dem Unterſchiede der Entfernung der Erde vom Jupiter proportionirt. Dieſes kann wohl nur von einer ſucceſſiven Fortpflanzung des Lichtes herrühren und zeigt demnach ſowohl das Daſeyn einer gewiſſen Geſchwindigkeit des Lichtes, als auch daß dieſelbe beſtändig ſey und über 40,000 Meilen betrage. Dieſelbe Geſchwindigkeit zeigen aſtronomiſche Beobachtungen beim Lichte der Fixſterne. — Dieſe Gleichförmigkeit der Bewegung folgt nach der Vibrationshypotheſe aus der Natur dieſer Bewegung, wie beim Schalle (I. 320) gezeigt wurde; nach der Emanationshypotheſe muß man annehmen, daß der Lichtſtoff durch eine abſtoßende Kraft von den leuchtenden Körpern weggetrieben werde, die ungeheuer ſeyn muß, weil ſie nicht blos die Schwere überwinden, ſondern auch dem Lichte noch dazu eine ſo große Geſchwindigkeit ertheilen muß. Es iſt immer etwas verdächtig, daß die Kraft aller Fixſterne, ſo verſchieden ſie an Größe und Entfernung ſind, gerade ſo groß ſeyn ſoll, als nöthig iſt, um ihrem Lichte die Geſchwindigkeit des Sonnenlichtes zu ertheilen. Nach der erſteren Anſicht iſt dieſe Gleichheit in der Geſchwindigkeit des Lichtes aller Körper ſehr einleuchtend, indem das fortpflanzende Mittel für alle dasſelbe iſt. (*Roemeri Basis Astronomiae. Havniae.* 1735. *p.* 121.)

11. Sowohl die geradlinige Fortpflanzung als die gleichförmige Bewegung findet nur ſo lange Statt, als ſich das Licht in demſelben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, ſo erleidet es beim Übergange eine Änderung der Geſchwindigkeit, woraus meiſtens eine Änderung der Richtung und der Intenſität hervorgeht. Es kehrt nämlich ein Theil eines Strahls an der Grenze zweier he-

terogener Mittel in das alte zurück, der andere dringt ins neue Mittel ein. Geſchieht dieſes in ſchiefer Richtung gegen die Grenze der Mittel, ſo ändert der Strahl ſeine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Kann dieſer Theil das letztere Mittel wieder verlaſſen, ſo heißt dasſelbe durchſichtig oder durchſcheinend, weil man dadurch andere Körper deutlich oder doch ihren Umriſſen nach ſehen kann; iſt dieſes nicht der Fall, ſondern wird dieſer Strahl im Mittel ſeiner leuchtenden Kraft beraubt, abſorbirt, ſo nennt man es undurchſichtig. Ein Mittel, welches einen Strahl, der von einem anderen Medium herkommt, an der Grenze ganz reflectirt oder ihn ganz aufnimmt, kann es nicht geben; ein ſolches, welches den aufgenommenen Strahl ungeſchwächt bis an ſeine Grenze fortleitet, mithin vollkommen durchſichtig iſt, wäre zwar der Natur der Sache nach nicht unmöglich, doch zeigt uns die Erfahrung kein ſolches, ſondern jeder, auch der durchſichtigſte Körper abſorbirt in ſeinem Inneren einen Theil des aufgenommenen Lichts und iſt daher nur unvollkommen durchſichtig.

Dieſe Modificationen des Lichtes ſind, der Vibrationshypotheſe gemäß, eine nothwendige Folge des Überganges der vibrirenden Bewegung von einem Mittel in ein anderes und ihrer Fortpflanzung in einem nicht ſtetig mit gleichartiger Maſſe erfüllten Raume, ſie laſſen ſich der Qualität und Quantität nach vollkommen genau aus ihr erklären. Die Emanationshypotheſe braucht dazu beſondere Hilfshypotheſen in Bezug auf das Licht und die Körper. So muß ſie zur Erklärung der Durchſichtigkeit eine geradlinige Anordnung der Zwiſchenräume annehmen, ungeachtet man dabei auf eine Schwierigkeit ſtößt, die man nicht zu beſeitigen vermag. Da nämlich viele Körper nach allen Seiten gleich durchſichtig ſind, ſo müſſen ſie auch nach allen Seiten geradlinige Poren haben und es bleibt für die undurchſichtige Maſſe, welche den Körper ſelbſt ausmacht, kein Platz übrig.

12. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte herkommen, wieder völlig oder beinahe in einem Puncte vereiniget werden, ſo daß ſie von dieſem wie von der Lichtquelle ſelbſt ausgehen. Dem Auge erſcheint daſelbſt das Bild des leuchtenden Punctes, weil es denſelben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen urſprünglich von dieſem Puncte aus. Auf gleiche Weiſe können Bilder von leuchtenden Gegenſtänden entſtehen, denn jedes ſolche iſt nur die Summe der Bilder

aller einzelnen Puncte. Dieſe Bilder haben deſto mehr Klarheit (Helligkeit), je mehrere Strahlen zur Entſtehung des Bildes jedes einzelnen Punctes beitragen und ins Auge gelangen, und deſto mehr Deutlichkeit, in einem je engeren Raume ſich die von einem Puncte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen ſie genau in einem Puncte zuſammen, ſo hat das Bild von dieſer Seite die größte Deutlichkeit.

Wie ſehr die Deutlichkeit der Bilder von der Größe des Raumes abhängt, innerhalb welchem ſich die von einem leuchtenden Puncte ausgehenden Strahlen vereinigen, zeigt vorzüglich die ſogenannte optiſche Kammer, d. i. ein verfinſtertes Gemach, in welches die von gegenüberſtehenden, beleuchteten Gegenſtänden ausfahrenden Strahlen nur durch eine kleine, runde Öffnung eindringen können. Jeder Punct dieſer Gegenſtände ſendet einen Strahlenkegel durch die Öffnung und die Baſis dieſes Kegels ſtellt auf einer der Öffnung gegenüberſtehenden Wand ſein Bild vor. Dieſes iſt offenbar bei einerlei Entfernung der Wand von der Öffnung deſto kleiner, je kleiner die Öffnung iſt, und in dem Verhältniſſe, in welchem man die Öffnung verkleinert, wächſt die Deutlichkeit der Bilder. Wenn die Öffnung ſehr klein und die Wand derſelben ſehr nahe iſt, hat die Deutlichkeit der Bilder ſchon einen bedeutenden Grad erreicht; ein Beweis, daß es für unſer Auge ſchon hinreichend ſey, wenn die Strahlen, welche ein Punct liefert, nur in einem kleinen Raume zuſammentreffen.

13. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchſichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abweſenheit des Lichtes nennt man Finſterniß, wiewohl man einen Raum oft ſchon für finſter hält, wenn es ihm an der zum Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond ꝛc.; ſo gibt es hinter einem undurchſichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann und den man Kernſchatten nennt, auch noch einen ſolchen, der nur von einigen Puncten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Dieſen nennt man Halbſchatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Puncte des Halbſchattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intenſität und dieſes nimmt an einem jeden Querſchnitte des Halbſchattens gegen den Kernſchatten hin durch alle Zwiſchenſtufen ab. Beide Schatten gehen alſo ſtetig in einan-

der über, ſo daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Iſt z. B. *AB* (Fig. 174) eine leuchtende, *CD* eine beleuchtete Linie, ſo iſt *CED* der Kernſchatten, *ECx* und *EDy* der Halbſchatten.

14. Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äußerſten Rande des beleuchteten Körpers vorbeifahren; ſo muß ſeine Geſtalt, Lage und Größe von der Geſtalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenſeitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematiſch beſtimmt werden können. Man erſieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchteten Körpers, ja ſogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen und daher den Schatten zur Beſtimmung der Dimenſionen oder Bewegung eines Gegenſtandes benützen könne. (Silhouettiren, chineſiſches Schattenſpiel. Beſtimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes ꝛc. mittelſt ſeiner Schattenlänge.)

15. Der Schatten erſcheint durch Contraſt deſto dunkler, je ſtärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet iſt; daher verurſacht das ſtärkſte Licht den dunkelſten Schatten. Daß uns Nachts bei einem ſparſamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erſcheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal ſtärkere Sonnenlicht ſcheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage faſt kein Kernſchatten vorhanden iſt, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines andern fällt.

Zweites Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

16. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichſam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, iſt entweder zerſtreutes oder regelmäßig reflectirtes Licht. Durch erſteres wird uns der Körper, an deſſen Grenze die Zerſtreuung erfolgt, ſelbſt ſichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere ſehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper ſendet. Ob Licht zerſtreut oder regelmäßig reflectirt werde, hängt blos von der Rauhheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieſes ſieht man daraus, daß jeder Körper, der, ſo lange er

rauh und unpolirt iſt, blos ſelbſt ſichtbar wird, alſogleich ſtatt ſeiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn ſeine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenſtände zeigen, von denen ſie beleuchtet werden, heißen Spiegel. Sie müſſen offenbar die auffallenden Strahlen in derſelben Ordnung reflectiren, in welcher ſie auffielen; denn wie könnte ſonſt eine Empfindung in unſerem Auge entſtehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenſtande her? Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenſtände, aber nicht ſein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen ſolchen Spiegel. Diejenigen, welche ſich der Vollkommenheit am meiſten nähern, ſind: Einige ruhig ſtehende Flüſſigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Miſchung von Kupfer, Silber und Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken unentbehrlich, wohl polirte, auf einer Seite geſchwärzte Glasplatten, oder gar Platten aus ſchwarzem Glaſe, die nur auf einer Seite polirt ſind. Dieſen ſtehen unſere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen iſt, weit nach, weil ſie mehrere Bilder machen, die ſich zum Theil decken; meiſtens erkennt man deren zwei (am beſten an einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man 4 bis 5 und mehr ſolche Bilder.

17. Die Zurückwerfung des Lichtes erfolgt nach beſtimmten Geſetzen, um die es ſich hier handelt. Iſt *AB* (Fig. 175) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartiger Mittel, *C* der Berührungspunct, den der Strahl *SC* trifft, ferner *CE* ſenkrecht auf *AB* und *CO* die Richtung des reflectirten Strahls; ſo heißt *C* der Einfallspunct, *CE* das Einfallsloth des Strahls *SC*, eine Ebene durch *SC* und *CE* die Einfallsebene, *SCE* der Einfallswinkel, *OCE* der Reflexionswinkel. Dieſem nach geſchieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Geſetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich iſt. Von der Richtigkeit dieſer Geſetze überzeugt man ſich, wenn man einen Lichtſtrahl durch eine ſehr kleine Öffnung in ein verfinſtertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt und mittelſt eines genauen Inſtrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht.

18. Wendet man dieſe Grundgeſetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verſchiedener Geſtalt an; ſo findet man immer die Richtung der Lichtſtrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo ſie herkommen oder herzukommen ſcheinen, daher auch die Lage des Bildes, das ſie erzeugen, und ſeine Beſchaffenheit. Mit den ſo gefundenen Reſultaten ſtimmt die Erfahrung auf das genaueſte überein und liefert hierdurch einen neuen Beweis für die Richtigkeit der oben erwähnten Reflexionsgeſetze.

19. Iſt AB (Fig. 175) ein ebener Spiegel, S ein Punct, der die Lichtſtrahlen SC, SD darauf ſendet; ſo findet man die Richtung der reflectirten Strahlen CO und DO', wenn man in den Einfallspuncten C und D die Einfallslothe CE und DF errichtet, und $ECO = ECS$, $FDO' = FDS$ macht. Denkt man ſich von S eine auf AB ſenkrechte Linie SAG, ſo ſchneidet der verlängerte Strahl OC die SG in s, ſo daß $AS = As$ iſt; denn in den Dreiecken ACS und ACs iſt AC gemeinſchaftlich, $SAC = sAC$, $SCA = BCO = sCA$, mithin auch $AS = As$. Eben ſo hat man für den Punct s', wo der verlängerte Strahl $O'D$ die SG ſchneidet, $AS = As'$ und eben deßhalb auch $As = As'$. Es werden daher die von einem Puncte ausgehenden Strahlen von einem Planſpiegel ſo reflectirt, als wenn ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel kämen, der in einer auf ihm ſenkrechten und durch den leuchtenden Punct gehenden Linie liegt und eben ſo weit von ihm entfernt iſt, als der leuchtende Punct. Deßhalb machen die reflectirten Strahlen im Auge denſelben Eindruck, als kämen ſie von dem ſo beſtimmten Puncte hinter dem Spiegel.

20. Steht vor einem Planſpiegel ein leuchtender Gegenſtand, ſo wird das Bild jedes einzelnen Punctes in der genannten Entfernung hinter dem Spiegel erſcheinen. Die Bilder aller dieſer Puncte zuſammen geben das des Gegenſtandes. Man ſieht wohl leicht ein, daß dieſes Bild in natürlicher Stellung und Größe erſcheinen und daß es an allen Bewegungen des abgebildeten Gegenſtandes Theil nehmen muß. Macht der Gegenſtand mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, ſo bildet der Gegenſtand mit ſeinem Bilde einen rechten Winkel; ſteht er aber auf dem Spiegel ſenkrecht, ſo hat ſein Bild gerade die entgegengeſetzte Lage. Hierauf beruhen: Der Helioſtat, d. i. ein Planſpiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung ſetzen und ihm dadurch eine ſolche Bewegung ertheilen kann, daß die darauf fallenden Sonnenſtrahlen, un=

geachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derſelben Richtung reflectirt werden; Gauß's Heliotrop, d. i. zwei auf einander ſenkrecht ſtehende, mit einem Fernrohre verbundene Planſpiegel, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem beſtimmten, weit entfernten Puncte hinzuwerfen, ſo daß man daſelbſt den Spiegel hell erleuchtet ſieht, der andere aber, um dem erſteren die zu ſeinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Ferner gehören hieher die verſchiedenen Reflexionsgoniometer, d. i. Inſtrumente, mittelſt welcher man die ebenen Winkel der Kryſtalle durch reflectirtes Licht mißt, wie z. B. das von Charles, Wollaſton, und mein eigenes (Gilb. Ann. 71. 1.), das Zauberperſpectiv, der Wall- oder Operngucker, ferner die Art, wie uns Gegenſtände in einem ruhigen Waſſer erſcheinen u. dgl. m.

21. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, ſo werden ſie natürlich ſo von ihm zurückgeworfen, als wenn ſie von einem Gegenſtande kämen, der ſich an der Stelle des Bildes im erſten Spiegel befindet; dasſelbe geſchieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn ſie auf einen dritten auffallen, und ſo fort. Steht daher ein Gegenſtand zwiſchen zwei parallelen Spiegeln, ſo entſtehet von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die erſteren eine ſolche Lichtſtärke haben, daß ſie geſehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, ſo entſteht von einem dazwiſchen ſtehenden Gegenſtande nur eine endliche Anzahl von Bildern; denn damit die vom erſten Spiegel reflectirten Strahlen im zweiten ein Bild geben, müſſen ſie ſo auffallen, als kämen ſie von einem Puncte her, der ſo gelegen iſt, daß eine von ihm auf den zweiten Spiegel gezogene ſenkrechte Linie durch die ſpiegelnde Ebene geht, eine Bedingung, welche nur $(n-1)$ mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben ſolche Winkelſpiegel von einem Gegenſtande auch nur $(n-1)$ Bilder. Dieſe erſcheinen ſymmetriſch rings um die Axe der Spiegel und gewähren nicht ſelten einen ſehr überraſchenden Anblick, den man ſich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das ſogenannte Kaleidoſcop am leichteſten verſchaffen kann.

22. Die ſphäriſch gekrümmten Spiegel ſind entweder Concav- oder Convexſpiegel, je nachdem die hohle oder die erhabe-

ne Seite ſpiegelt. Es ſey AB (Fig. 176) der Durchſchnitt eines ſphäriſchen Hohlſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung. Iſt S ein leuchtender Punct vor dem Spiegel, ſo wird er einen Lichtkegel auf ihn ſenden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden ſollen, nämlich der durch den Mittelpunct C gehende SCD, den man Hauptſtrahl nennt, und ein anderer SE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmeſſer CD iſt, ſo muß SCD nach DS zurückgeworfen werden, während SE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, durch Reflexion die Richtung EF bekommt, welche durch den Winkel $CEF = CES$ beſtimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptſtrahl SD findet man unter der Vorausſetzung, daß der Winkel DSE ſehr klein iſt, auf folgende Weiſe: Es ſey $CD = 2p$, $SD = a$, $FD = \alpha$, und man nehme der erwähnten Vorausſetzung gemäß an, daß $SE = SD = a$ und $FE = FD = \alpha$ ſey; ſo iſt

$$SE : EF = SC : CF \text{ oder } a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a(2p - \alpha) = \alpha(a - 2p), \text{ und hieraus } \frac{a\alpha}{a + \alpha} = p \text{ und}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}.$$

Dieſer Ausdruck gilt offenbar für alle Strahlen, die mit dem Hauptſtrahle denſelben, aber ſehr kleinen Winkel bilden, mithin für einen hohlen Lichtkegel von unendlich kleiner Dicke, deſſen Axe der Hauptſtrahl iſt; allein ſelbſt für alle Strahlen, die mit SD etwas verſchiedene Winkel machen, wird der Werth von α gleich angenommen werden können, wenn die Winkel überhaupt nur klein ſind, und es werden daher alle nach ihrer Reflexion gegen den Hauptſtrahl dieſelbe Lage haben. Nur mehr divergirende Strahlen bekommen eine von dieſer abweichende Lage gegen den Hauptſtrahl, und der Vereinigungspunct von zwei ſich ſchneidenden Strahlen liegt in einer Fläche von eigener Krümmung, die man cauſtiſche Fläche (Suppl. S. 386) nennt. Die herzförmige lichte Linie, die man innerhalb eines cylindriſchen Glasgefäßes oder eines Ringes bemerkt, wenn dieſe Gegenſtände ſtark beleuchtet ſind, zeigt die Geſtalt eines Durchſchnittes dieſer Fläche.

23. Aus obiger Formel leitet man leicht folgende Reflexionsgeſetze für Hohlſpiegel unter obiger Vorausſetzung ab: 1) Für $a = \infty$ iſt $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit

entfernten Puncte auf den Hohlſpiegel auffallen, mithin parallel ſind, vereinigen ſich nach der Reflexion im Hauptſtrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieſer Vereinigungspunct paralleler Strahlen heißt Brennpunct (*focus*), ſeine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) Brennweite, weil man in dieſem Puncte brennbare Körper mittelſt des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umſtand, der den Hohlſpiegeln auch den Namen Brennſpiegel erworben hat. 2) Je kleiner a, deſto größer wird α, d. i. je mehr ſich der leuchtende Punct dem Spiegel nähert oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto mehr entfernt ſich der Vereinigungspunct der Strahlen vom Spiegel. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunct der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Puncte zuſammen, wenn ſich letzterer im Mittelpuncte der Krümmung befindet. 4) Iſt $a < 2p$, ſo iſt $\alpha > 2p$, d. h. iſt der leuchtende Punct innerhalb des Mittelpunctes der Krümmung, ſo fällt der Vereinigungspunct der Strahlen außer dieſen Mittelpunct. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen ſich die Strahlen, welche vom Brennpuncte ausgehen, nach ihrer Reflexion erſt in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. ſie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, ſo bekommt man für α einen negativen Werth, d. h. iſt der leuchtende Punct innerhalb des Brennpunctes, ſo werden ſeine Strahlen ſo reflectirt, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel her, oder ſie bleiben divergirend.

24. Die durch Reflexion zu einem Puncte vereinigten Strahlen gehen davon ſo aus, als wäre er der urſprünglich leuchtende Punct, man muß daher in dieſem Vereinigungspuncte ſein Bild ſehen; ja ſelbſt ſolche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung bekommen, als kämen ſie von einem Puncte her, wenn ſie ſich auch nie vereinigt haben, müſſen in uns dieſelbe Empfindung erregen, als wenn ſie wirklich davon herkämen, und deßhalb ſieht man auch in dieſem ſcheinbaren Vereinigungspuncte ein Bild. Aus dieſem folgt, daß in einem Hohlſpiegel immer ein Bild entſteht, wenn ſich der leuchtende Punct nicht in dem Brennpuncte befindet und daß dieſes Bild vor dem Spiegel erſcheint, ſo lange der leuchtende Punct außer der Brennweite iſt, hingegen hinter demſelben, wenn er ſich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch dieſe Geſetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenſtandes gegeben iſt, verſteht ſich wohl von ſelbſt.

25. So lange das Bild eines Gegenſtandes vor dem Hohlſpiegel erſcheint, iſt es immer verkehrt; es wächſt an Ausdehnung, ſo wie es ſich vom Krümmungsmittelpuncte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner ſeyn, als der Gegenſtand. Iſt nämlich AB (Fig. 177) der Durchſchnitt eines Hohlſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung, DE ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint D in dem Puncte e des Hauptſtrahles DCG und E im Puncte d des Hauptſtrahles ECF; die Bilder der zwiſchen D und E gelegenen Puncte liegen zwiſchen e und d, ſo daß de das ganze Bild von DE vorſtellt, welches offenbar vor AB und verkehrt erſcheint. Zur Beſtimmung der Größe von de kann man ohne Fehler annehmen

$$de : DE = Cd : EC \text{ oder } \frac{de}{DE} = \frac{Cd}{EC}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erſcheint, iſt es immer aufrecht und übertrifft den Gegenſtand an Größe; denn für dieſelbe Bedeutung von AB und C und unter der Vorausſetzung, daß de der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenſtand ſey, erſcheint das Bild d' von d hinter dem Spiegel im Hauptſtrahle Cdd', und das von e im Puncte e' des Hauptſtrahles Cee', mithin iſt $d'e'$ das ganze Bild von de, es ſteht offenbar aufrecht und iſt größer als de. Von dieſem kann man ſich auch auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlſpiegel immer mehr und mehr nähert und ihr Bild mit weißem Papiere auffängt.

26. Nimmt man in dem für einen Hohlſpiegel entwickelten Ausdruck p negativ, ſo entſteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$$

aus der man die Lage des von einem Converſpiegel reflectirten Strahles gegen ſeinen Hauptſtrahl ableiten kann. Man erſieht daraus leicht, daß für jeden poſitiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte auf einen Converſpiegel fallen, ſo reflectirt werden, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel. In dieſem Puncte erſcheint daher ſein Bild. Da α deſto größer wird, je größer p und a iſt, ſo muß die Entfernung dieſes Bildes vom Spiegel deſto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punct

vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmeſſer des Spiegels iſt.

27. Das Bild eines leuchtenden Gegenſtandes, das ein Converſpiegel macht, muß dieſem gemäß auch hinter ihm entſtehen. Es erſcheint aufrecht und verkleinert; letzteres deſto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erſcheint. Denn iſt *AB* (Fig. 178) ein Durchſchnitt eines Converſpiegels, *C* der Mittelpunct ſeiner Krümmung, *DE* ein leuchtender Gegenſtand und erſcheint das Bild von *D* im Puncte *d* des Hauptſtrahles *DC*, das von *E* im Puncte *e* ſeines Hauptſtrahles *EC*; ſo kann *de* das Bild von *DE* vorſtellen, und man kann die Proportion annehmen

$$de : DE = dC : DC.$$

28. Mehr zur Unterhaltung als zum wiſſenſchaftlichen Behufe hat man cylindriſche und coniſche Spiegel. Erſtere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convexe oder concave Spiegel angeſehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders ſpiegelt, und deßhalb erſcheinen in ihnen die Bilder der Gegenſtände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Letztere ſind ebenfalls der Höhe nach plan, der Breite nach aber convex und zwar deſto mehr, je näher die Theile der Spitze des Kegels kommen; daher erſcheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit ſtets nach oben zu abnehmender Breite. Es iſt begreiflich, daß, ſo wie durch dieſe Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenſtände verzogen und verunſtaltet erſcheinen, die der nach einer gewiſſen Regel verunſtalteten vom ſchönſten Bau geſehen werden können. Hierauf beruhen die ſogenannten katoptriſchen Anamorphoſen. (Siehe: *Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova.* Leipzig, 1714.)

Theoretiſche Anſicht der Reflexion.

29. Trifft eine Lichtwelle einen Körper, durch den ſich die Ätherſchwingungen eben ſo ſchnell fortpflanzen, wie durch denjenigen, von dem ſie kommt; ſo pflanzt ſich das Licht durch ihn fort, ohne von ſeiner Richtung abgelenkt zu werden; iſt aber die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit im neuen Mittel größer oder kleiner als im alten, d. i. ſind dieſe Mittel optiſch heterogen, ſo wird der Natur der vibrirenden Bewegung gemäß (I. 325) die Lichtwelle an der Trennungsfläche beider Mittel in zwei zerlegt, wovon eine ins

neue Mittel eindringt, während die andere ins alte zurückkehrt, d. i. reflectirt wird. Iſt AB (Fig. 179) die Trennungsfläche zweier heterogener Mittel, C ein leuchtender Punct, CD der Lichtſtrahl, um den es ſich handelt, mithin Db ein Stück der einfallenden als ſphäriſch vorausgeſetzten Lichtwelle; ſo haben alle in dieſer Fläche liegenden Äthertheilchen zugleich eine Bewegung nach der Richtung der dazu gehörigen Tangente. So wie nun beim ſucceſſiven Fortrücken der Bewegung ein Äthertheilchen auf AB gelangt, wird es daſelbſt den Geſetzen des Stoßes elaſtiſcher Körper gemäß reflectirt (I. 262), alle ſolchen reflectirten Theile bilden die reflectirte Welle ge, die, analytiſchen Unterſuchungen gemäß, gleich der einfallenden ſphäriſch iſt und ihren Mittelpunct in der durch den leuchtenden Punct C gehenden, auf AB ſenkrechten, geraden Linie CF und zwar ſo weit hinter AB hat, als C vor AB liegt. Es iſt klar, daß der reflectirte Strahl durch F und D gehen oder die Richtung FDx haben muß. Zur näheren Beſtimmung ſeiner Lage hat man $CE = EF$, $ED = ED$, $CED = FED$, mithin auch $EDC = EDF = BDx$ und wenn DH ſenkrecht auf AB ſteht. $HDC = HDx$, ſo wie es die Erfahrung nachweiſet. (Suppl. S. 525.) Es iſt klar, daß die reflectirte Welle aus den einzelnen, in AB reflectirten Äthertheilchen nur dann gebildet werden könne, wenn die Fläche AB hinreichend glatt iſt, d. h. wenn viele Puncte derſelben in der Ebene AB liegen. Die nicht in dieſer Ebene liegenden Puncte erzeugen andere Wellen und zwar ihrer ſo viele, als es Ebenen gibt, in denen eine hinreichende Anzahl ſolcher Puncte liegt. Dieſe Wellen begründen das zerſtreute Licht.

30. Nach dem Sinne des Emanationsſyſtems erklärt man ſich die Reflexion des Lichtes auf folgende Art: Weil der auffallende Strahl zuerſt ſeine ganze Geſchwindigkeit verliert und hierauf eine gleiche nach entgegengeſetzter Richtung bekommt; ſo muß vom reflectirenden Körper eine abſtoßende Kraft ausgehen, die auf das Licht wirkt. Die Wirkung dieſer Kraft kann nicht erſt beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil ſonſt die Erhöhungen und Vertiefungen, die ſich auch an den möglichſt polirten Oberflächen befinden und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß ſind, zur Folge haben müßten, daß das Licht immer nach allen Seiten reflectirt würde und nie in der Ordnung, wie es auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall iſt. Die Wirkungsſphäre dieſer Kraft muß aber doch ſehr klein ſeyn, weil der Erfahrung gemäß

ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspuncte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Iſt nun *AB* (Fig. 180) eine reflectirende Ebene, *SC* ein Lichtſtrahl, der vom leeren Raume kommt und *AB* in *C* trifft, wenn er geradlinig fortgeht, ſtellt *SC* zugleich ſeine Geſchwindigkeit vor; ſo kann man ſie in die auf *AB* ſenkrechte *SD*, und in die mit ihr parallele *DC* zerlegt denken. Da nun die Reſultirende aller abſtoßenden Kräfte der Materie unter *AB* auf *AB* ſenkrecht ſtehen muß, ſo wirket dieſe Kraft der *SD* gerade entgegen, äußert aber auf *DC* gar keine Wirkung. Sobald der Strahl in die Wirkungsſphäre von *AB* gelangt, wird die auf *AB* ſenkrechte Geſchwindigkeit vermindert und zwar deſto mehr, je näher der Strahl an *AB* kommt, bis ſie endlich ganz aufgehoben iſt. Daher beſchreibt der Strahl vom Puncte an, wo er die erſte Einwirkung von der abſtoßenden Kraft erfährt, bis dahin, wo ſeine normale Geſchwindigkeit $= o$ iſt, eine krumme gegen *AB* convexe Linie. Durch fortgeſetzte Wirkung der abſtoßenden Kraft wird nun der Strahl von *AB* weggetrieben und weil da ſeine Geſchwindigkeit nach demſelben Geſetze wächſt, wie ſie vorhin abnahm; ſo beſchreibt er vermög dieſer und der unveränderten *DC* den zweiten Arm der Curve, welcher dem erſten ganz gleich iſt, bewegt ſich, ſobald er die Wirkungsſphäre der abſtoßenden Kraft verlaſſen hat, nach der Tangente dieſer Curve fort und macht mit *AB* denſelben Winkel wie *SC*. Kommt der Strahl, ſtatt vom leeren Raume, von einem anderen materiellen Mittel, z. B. von Luft, das mit der Kraft *P* auf das Licht wirkt, während die Kraft des neuen Körpers *Q* iſt, ſo kann man ſich die Sache ſo vorſtellen, als käme der Strahl vom leeren Raume auf das Mittel *AB*, das mit der Kraft $Q - P$ darauf wirkt. Aus dieſer Anſicht erklärt man alſo auch recht wohl alle bei der Reflexion vorkommenden Phänomene. (Suppl. S. 565.) Wie aus der Rauhheit der Oberfläche eines Körpers eine Zerſtreuung des Lichtes hervorgehe, iſt von ſelbſt klar.

Drittes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

31. Wenn ein Lichtſtrahl auf einen durchſichtigen Körper ſchief auffällt, ſo geht ein Theil desſelben durch den Körper hindurch,

wird aber von ſeinem geraden Wege abgelenkt. Dieſe Ablenkung heißt man die **Brechung** des Lichtes. Iſt z. B. *AB* (Fig. 181 und 182) ein Durchſchnitt der Einfallsebene des Strahles mit der Grenze zweier durchſichtiger Mittel, *SCx* der einfallende Strahl, *DCE* die in dem Einfallspuncte *C* auf *AB* errichtete Senkrechte, *Cy* die Richtung des gebrochenen Strahles; ſo heißt *ECy* der **Brechungswinkel**, *yCx* der **gebrochene Winkel**. In vielen durchſichtigen Körpern wird ein Lichtſtrahl in zwei Büſchel zertheilt und jeder nach eigenen Geſetzen gebrochen. Hier ſoll aber nur von jenen Geſetzen der Brechung die Rede ſeyn, nach denen ſich wenigſtens ein Theil des Lichtes in jedem durchſichtigen Körper richtet. Wenn ein cylindriſcher Lichtbüſchel in ein brechendes Mittel einfällt, ſo muß er offenbar wieder als ſolcher aus dem Mittel kommen, falls alle ſeine Theile dieſelbe Brechbarkeit haben; hingegen wird dieſer Lichtbüſchel divergirend werden, wenn er aus Theilen beſteht, deren Brechbarkeit verſchieden iſt. Der Erfahrung zu Folge iſt letzteres der Fall, man bemerkt aber dieſe Ungleichheit der Brechbarkeit nur dann, wenn der Strahl ſtark von ſeiner urſprünglichen Richtung abgelenkt wird. In dieſem Kapitel wird die Sache immer ſo betrachtet, als hätten alle Theile eines Lichtſtrahls denſelben Grad der Brechbarkeit, und wenn von numeriſchen Werthen der Brechbarkeit des Lichtes die Rede iſt, ſo beziehen ſie ſich immer auf Strahlen von mittlerer Refrangibilität, mithin auf die Axe des divergirenden Strahlenbüſchels. Unter dieſer Vorausſetzung gelten für die gewöhnliche Brechung des Lichtes folgende Geſetze: 1) Der gebrochene Strahl liegt immer in der Einfallsebene. 2) Für dasſelbe brechende Mittel iſt das Verhältniß zwiſchen den Sinuſſen des Einfalls- und Brechungswinkels beſtändig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Iſt daher der Einfallswinkel $DCS = a$, der Brechungswinkel $ECy = b$, ſo iſt $\sin a : \sin b = n : 1$ und $\frac{\sin a}{\sin b} = n$; eben ſo iſt auch

$$\frac{\cos SCA}{\cos BCy} = n,$$ wo n eine Zahl bedeutet, die immer denſelben Werth hat, ſo lange ſich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt ſie den Exponenten des **Brechungsverhältniſſes** zweier Körper oder kürzer den **Brechungsexponenten**. 3) Ein Licht-

ſtrahl, der vom leeren Raume in einen Körper eindringt, wird daſelbſt zum Einfallslothe gebrochen, d. h. ſo daß der Brechungswinkel kleiner iſt als der Einfallswinkel. 4) Geht ein Strahl aus einem dünneren Mittel in ein dichteres von derſelben materiellen Beſchaffenheit und demſelben Aggregationszuſtande, z. B. von dünnerer Luft in dichtere, ſo wird er zum Einfallslothe gebrochen, oder es iſt $n > 1$; geht er aber aus einem dichteren Mittel in ein dünneres von derſelben Natur und demſelben Aggregationszuſtande, ſo wird er vom Einfallslothe gebrochen, oder es iſt $n < 1$. Fig. 181 ſtellt den erſten und Fig. 182 den zweiten Fall vor, wenn Sx der einfallende Strahl, CD das Einfallsloth und Cy der gebrochene Strahl iſt. 5) Kommt der Strahl aus einem Mittel in ein anderes, deſſen materielle Natur von jener des erſten verſchieden iſt; ſo hängt es nicht vom Verhältniſſe der Dichte der Mittel, ſondern von ihrer Natur ab, ob der Strahl zum Einfallslothe gebrochen wird oder von demſelben, doch erfolgt die Brechung beim Übergange von einem dünneren Mittel in ein dichteres meiſtens zum Einfallslothe. 6) Geht ein Strahl aus einem mehr brechenden in ein minder brechendes Mittel über; ſo iſt $a < b$. Erreicht nun b den Werth von 90°, ſo iſt $\sin b = 1$ oder $b = 90°$ und es geht der modificirte Strahl längs der Trennungsebene beider Mittel fort. Für jeden größeren Werth von b kehrt demnach dieſer Strahl ins alte Mittel zurück. In dieſem Falle ſagt man: das Licht erleide eine **totale** Reflexion.

32. Der Brechungsexponent und die Sinuſſe des Einfalls- und Brechungswinkels hängen daher ſo innig mit einander zuſammen, daß, wenn zwei dieſer Größen gegeben ſind, ſich die dritte daraus beſtimmen läßt. Man hat auch wirklich auf dieſem Wege theils die Richtung des gebrochenen Strahles, theils den Werth von n in der oben angegebenen Bedeutung kennen gelernt. Zum letzteren Behufe mußte man dem Körper, für welchen n beſtimmt werden ſollte, eine Geſtalt geben, bei welcher die Ablenkung des gebrochenen Strahles von der urſprünglichen Richtung, d. i. der gebrochene Winkel recht groß wird, um den Einfluß der ſtets beim Meſſen desſelben vorfallenden Fehler auf das Reſultat möglichſt zu ſchwächen. Körper, die mit parallelen Flächen begrenzt ſind, laſſen ſich dazu nicht brauchen, weil der austretende, gebrochene Strahl dem einfallenden parallel iſt. Es ſeyen AB und CD (Fig. 183) die parallelen Seitenflächen und ein Strahl falle in der Richtung SE

auf AB, werde daſelbſt ſo gebrochen, daß er den Weg EF einſchlägt, beim Austritte aus dieſem Körper in F aber ſo, daß er in der Richtung Fx fortgeht. Zur Beſtimmung der Lage Fx gegen SE hat man:

$$\frac{\cos AES}{\cos BEF} = n \text{ und } \frac{\cos DFx}{\cos EFC} = n, \text{ mithin } \frac{\cos AES}{\cos BEF} = \frac{\cos DFx}{\cos EFC}.$$

Weil aber $BEF = EFC$ iſt, ſo iſt auch $\cos BEF = \cos EFC$ und daher auch $\cos AES = \cos DFx$ und $AES = DFx$, welches anzeigt, daß Fx mit SE parallel iſt. Da nun bei einer Maſſe, für welche das Brechungsverhältniß des Lichtes beſtimmt werden ſoll, der Parallelismus der Wände möglichſt gemieden werden muß, ſo wird ein dreiſeitiges Prisma zu dieſem Zwecke vorzüglich brauchbar ſeyn. Es ſey nun ABC (Fig. 184) der Querſchnitt eines ſolchen Prisma's, der auf der Axe desſelben ſenkrecht ſteht, und es falle ein Strahl SD in der Ebene des Schnittes auf die Ebene AB. Iſt ED das Einfallsloth und die Maſſe des Prisma's von der Art, daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, ſo kann DF den gebrochenen Strahl vorſtellen. Dieſer wird aber beim Austritte aus dem Prisma in F wieder gebrochen und zwar vom Einfallslothe HF, ſo daß er nach der zweiten Brechung die Richtung FG hat. Es iſt nicht ſchwer, durch Rechnung den Zuſammenhang zwiſchen dem Einfallswinkel SDE, dem brechenden Winkel ABC des Prisma's, dem Winkel GKx, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und den Werth von n zu finden. Um dieſe Größe für Flüſſigkeiten zu beſtimmen, wählt man ein hohles Prisma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden beſteht, füllt die Flüſſigkeit ein und behandelt ſie nun wie einen feſten Körper. Bei der Prüfung von Gaſen und Dünſten muß dieſes Prisma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung ſtehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können. (Methoden zur Beſtimmung des Brechungsverhältniſſes im Suppl. S. 434.)

Iſt für irgend ein Mittel der Werth von n bekannt, ſo iſt es eine leichte Arbeit, für jeden gegebenen Einfallswinkel und für jede Geſtalt der Oberfläche des brechenden Mittels die Richtung des gebrochenen Strahles anzugeben. So laſſen ſich viele Erſcheinungen mit Leichtigkeit erklären, z. B. warum ein Gefäß minder tief erſcheint,

wenn es Waſſer enthält, als wenn es leer iſt, warum man einen ins Waſſer getauchten Stab verkürzt oder gebrochen ſieht, warum ein Gegenſtand im Waſſer größer und durch ein Rautenglas angeſehen vervielfältigt erſcheint; auch folgende, ſehr intereſſante Erſcheinungen erklären ſich aus den angeführten Brechungsgeſetzen, beſonders aus 2 und 4. Gießt man in ein gläſernes, ſchmales und ziemlich langes Gefäß Waſſer, und hierauf mittelſt einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelſäure, die ſich ſehr langſam mit dem Waſſer miſcht und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmählig an Dichte abnehmen, und ſieht hierauf durch die Flüſſigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenſtand; ſo bemerkt man ihn doppelt. Daſſelbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenſtand ſo anſieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftſchichten gehen muß, die durch ein glühendes Eiſen oder durch einen von der Sonne beſchienenen, ſchwarzen Körper verſchieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das ſcheinbare Zittern der Gegenſtände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache &c. anſieht.

33. Die Größe $n^2 - 1$ drückt, wie die Folge (36) zeigen wird, die Größe der lichtbrechenden Kraft des Mittels aus, worauf ſich n bezieht, man nennt ſie daher auch die **brechende Kraft** oder das **abſolute Brechungsvermögen** deſſelben. Heißt d die Dichte des brechenden Mittels; ſo ſtellt $\frac{n^2 - 1}{d}$ die brechende Kraft der Maſſe $= 1$ vor und kann als Maß des Brechungsvermögens des betreffenden Mittels angeſehen werden, einige nennen es auch ſpecifiſches Brechungsvermögen. Der Erfahrung gemäß hängt das Brechungsvermögen eines Körpers von ſeiner Natur ab und es iſt insbeſondere bei den brennbaren Körpern groß, ſo daß man aus dieſem ſchon vorhinein mit viel Wahrſcheinlichkeit beurtheilen kann, ob ein Stoff brennbar ſey oder nicht. Die brechende Kraft eines Gaſes iſt genau ſeiner Dichte proportionirt. Daſſelbe gilt nach **Dulong** für Dünſte, ſo lange ſie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt ſind, in der Nähe dieſer Grenze aber wächſt ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniſſe als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gaſes nicht, wenn ſie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gaſes oder gemengter Dünſte läßt ſich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemiſch zuſammengeſetzten Gaſes ſteht in keiner bekannten Beziehung mit jenem ſeiner Beſtandtheile. (**Biot**

und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373. Ein reichhaltiges Verzeichniß der Werthe von *n* für verſchiedene Körper enthält der Suppl. S. 1013. Stoff zu Beiſpielen hierüber findet man S. 319.)

Theoretiſche Anſicht der gewöhnlichen Brechung.

34. Der in den Zwiſchenräumen der Körper enthaltene (gebundene) Äther wird durch die anziehende Kraft, welche zwiſchen ihm und den Körpern Statt findet, in ſeiner ſpecifiſchen Elaſticität beſchränkt und kann darum nur im verdichteten Zuſtande der Elaſticität des freien Äthers Gleichgewicht halten. Daraus folgt, daß ſich die Schwingungen durch den in den Zwiſchenräumen der Körper enthaltenen Äther langſamer fortpflanzen als im freien und zwar deſto langſamer, je mehr ſeine ſp. Elaſticität vermindert oder je mehr er verdichtet iſt. Fällt nun eine Lichtwelle ſchief auf die Grenze des freien und gebundenen Äthers, ſo tritt erſt ein Theil derſelben nach dem anderen in das neue Mittel ein; der zuerſt eintretende wird natürlich mehr, der ſpäter eintretende weniger verzögert oder beſchleuniget, daraus geht eine Wendung der Lichtwelle hervor, aus welcher die Ablenkung des Strahles von ſelbſt folgt. Iſt *AB* (Fig. 185 *a*) die Grenze, oberhalb welcher ſich freier, unterhalb welcher ſich gebundener Äther befindet, *C* ein leuchtender Punct, *CD* der betreffende Lichtſtrahl, mithin *DE* die dazu gehörige Lichtwelle; ſo würde ſich dieſe mit ſich ſelbſt parallel fortpflanzen und die Lage *de* annehmen, wenn der gebundene Äther dieſelbe Fortpflanzungsgeſchwindigkeit geſtattete, wie der freie und *Df* wäre der verlängerte einfallende Strahl. Weil aber unter *AB* die Fortpflanzung der Bewegung langſamer vor ſich geht, ſo wird jenes parallele Fortrücken aufgehoben und während ſich im alten Mittel die Bewegung des Theilchens *E* bis *e* fortpflanzt, kommt die von *D* nur nach *g*, die Welle nimmt die Lage *egx* an und der Strahl *CD* erhält die Lage *Dg*, wird alſo zum Einfallslothe gebrochen. Geht die Lichtwelle vom weniger gebundenen Äther in mehr gebundenen über, ſo erleidet ſie im Allgemeinen dieſelbe Veränderung, wie beim Übergange von freiem Äther in gebundenen und der Strahl wird zum Einfallslothe gebrochen; findet aber ein Übergang vom mehr gebundenen in weniger gebundenen Statt, ſo tritt das Gegentheil ein. Haben für dieſen Fall wieder *AB*, *C*, *CD*, *Df*,

DE, *Dg*, *ed* (Fig. 185 *b*) die vorige Bedeutung, ſo muß die Welle im neuen Mittel die Lage *egx* annehmen, weil unter *AB* die Fortpflanzung ſchneller erfolgt als oberhalb und der gebrochene Strahl iſt *Dg*, mithin derſelbe vom Einfallslothe gebrochen. Man ſieht hieraus zugleich, daß nach dieſer Anſicht ein ſtärker brechendes Mittel dasjenige iſt, wo die Fortpflanzung mit geringerer Geſchwindigkeit erfolgt. (Suppl. S. 526.)

35. Nach der Emanationshypotheſe ſieht man die Erſcheinungen der Brechung als den Erfolg einer Kraft an, welche anziehend auf das Licht wirkt. Man meint, es ſey dieſe Kraft in keinem Widerſpruche mit der, woraus nach derſelben Anſicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar iſt, daß dieſelbe Kraft, die in einem Zuſtande anziehend wirkt, in einem anderen eine abſtoßende Wirkung ausübe. Dieſe Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels ſenkrecht ſteht, weil ein ſenkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirkſamkeit kann ſich in einem merklichen Grade nur auf eine ſehr geringe Entfernung erſtrecken, weil ſonſt die Ablenkung des Lichtes ſchon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar ſeyn müßte, was aber nicht der Fall iſt. Um aus der Wirkſamkeit dieſer Kraft die Erſcheinungen der Brechung abzuleiten, ſey *AB* (Fig. 186) die Oberfläche eines brechenden Mittels, *ab* mit *AB* parallel und ſo weit davon entfernt, als der Halbmeſſer der Wirkungsſphäre des neuen Mittels beträgt. Kommt ein Lichttheilchen vom leeren Raume ſenkrecht nach *ab*, ſo wird es ſchon beim Eintritte in die Wirkungsſphäre des Mittels beſchleunigt, aber nicht von ſeiner geradlinigen Bahn abgelenkt. Nicht ſo verhält es ſich mit einem ſchief einfallenden Strahle *SC*. Da kann man ſeine Geſchwindigkeit in zwei zerlegen, wovon eine mit *ab* parallel, die andere darauf ſenkrecht iſt; auf jene hat die Anziehung des Mittels keinen Einfluß, dieſe wird aber, vom Augenblicke des Eintrittes in *ab* an, fortwährend beſchleunigt, bis das Lichttheilchen zur Schichte *A′B′* eingedrungen iſt, wo das neue Mittel nach allen Richtungen mit gleicher Kraft darauf wirket. Deßhalb muß ſich dieſes Theilchen von *A* an bis *A′B′* dem Einfallslothe *FG* immer mehr und mehr nähern und ſeine Bahn eine krumme gegen *AB* hohle Linie ſeyn. Unter *A′B′* bleibt ſie aber geradlinig und behält dieſe Richtung, ſo lange die Gleichheit der Anziehung nach allen Seiten fortdauert. Was von einem ſolchen Lichttheilchen gilt, läßt ſich auch von jedem

folgenden, mithin von einem ganzen Lichtſtrahle behaupten und man ſieht daher ein, daß in dieſem Falle das Licht beim Eintritte zum Einfallslothe, beim Austritte vom Einfallslothe gebrochen werde. Die Krümmung des Lichtes beim Eintritte und Austritte iſt für uns, wegen der geringen Wirkungsſphäre der anziehenden Kraft, gar nicht merklich. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, ſondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, ſo hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Iſt die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner als die desjenigen, in welches er eintritt, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, deſſen Anziehung dem Unterſchiede der anziehenden Kraft beider gleich iſt; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es ſich aber umgekehrt, ſo iſt es gerade ſo, als wenn das zweite Mittel abſtoßend auf das Licht wirkte mit einer Kraft, welche dem Unterſchiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich iſt. In dieſem Falle wird die auf die Einfallsebene ſenkrechte Geſchwindigkeit des Strahles beſtändig vermindert, er beſchreibt eine gegen *AB* convexe, krumme Linie und wird vom Einfallslothe gebrochen.

36. Sowohl nach der einen als nach der anderen Hypotheſe bezeichnet $n:1$ das Verhältniß der normalen Geſchwindigkeiten des Lichtes in den beiden Mitteln, durch die es geht, und es findet nur der Unterſchied Statt, daß in dem Falle, wo nach der Emanationshypotheſe $n > 1$ iſt, nach dem Sinne der Vibrationshypotheſe das Gegentheil Statt findet. Die Größe $n^2 - 1$ ſtellt demnach den Verluſt oder den Gewinn an lebendiger Kraft vor, ſie muß der Größe der Wirkung des Mittels auf das Licht proportionirt ſeyn und kann daher mit Recht als Maß ſeiner lichtbrechenden Kraft angeſehen werden. (Suppl. S. 565.)

Viertes Kapitel.

Analyſe des Lichtes.

37. Denkt man ſich in einem verfinſterten Zimmer eine äußerſt kleine Öffnung an einem Fenſterladen, ſo daß ſie als ein Punct betrachtet werden kann, und läßt directes Sonnenlicht durch ſie eindringen; ſo hat der von der Sonne kommende Lichtkegel ſeine

Spitze an dieſer Öffnung und von da an bildet ſich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieſer mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels ſenkrecht ſteht; ſo erſcheint auf ihr ein leuchtender Kreis, der das Bild der Sonne ſo vielmal linear verkleinert vorſtellt, als ſeine Entfernung von der Öffnung in der Diſtanz der Sonne von derſelben enthalten iſt. Hat die Öffnung am Fenſterladen eine Ausdehnung und iſt z. B. kreisrund; ſo dringen mehrere ſolche Lichtkegel ein und geben zuſammen ein Sonnenbild, deſſen Halbmeſſer um den der Öffnung größer iſt, als im vorigen Falle. Es iſt nicht an allen Puncten gleich ſtark erleuchtet, ſondern an den Rändern mit einem Halbſchatten umgeben. Stellt z. B. *SS'* (Fig. 187) den Durchmeſſer der Sonne vor, *ab* eine kreisrunde Öffnung, *AB* eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht auffällt; ſo darf man nur die geraden Linien *Sac*, *Sbs'*, *S'as*, *S'bd* ziehen, um einzuſehen, daß in den Raum zwiſchen *c* und *d* von allen Puncten der Sonne Licht falle und daß *ds* und *cs'* im Halbſchatten liegen.

38. Läßt man einen ſolchen Lichtkegel auf ein dreiſeitiges, durchſichtiges Prisma *ABC* (Fig. 188) fallen, deſſen Axe horizontal ſteht; ſo erſcheint, ſtatt des vorhin runden Sonnenbildes, ein längliches, oben und unten von zwei Kreisbögen, ſeitwärts von parallelen Linien begrenztes Bild (Farbenbild, Spectrum), deſſen Querdurchmeſſer dem des vom ungebrochenen Lichte erzeugten Sonnenbildes gleicht, deſſen Länge aber von dem Einfallswinkel des Strahles, vom brechenden Winkel des Prisma's und von deſſen brechender Subſtanz abhängt. Es iſt zugleich gefärbt und man kann der ganzen Länge nach ſechs verſchieden gefärbte, an einander grenzende Streifen bemerken, und zwar einen rothen, orangefarbenen, gelben, grünen, blauen und violetten; ja keiner dieſer Streifen zeigt an allen Theilen eine gleich intenſive Farbe; beſonders iſt dieſes beim blauen auffallend, der gegen den grünen zu merklich lichter als gegen den violetten iſt, ſo daß ſich Newton, dem wir die Unterſuchung dieſer Erſcheinung vorzüglich verdanken, dadurch und zum Theil auch durch ſeine Lieblingsidee, zwiſchen den Farben des Sonnenlichtes und den ſieben Tönen einer Octave eine Ähnlichkeit herauszubringen, bewogen fand, ſieben verſchiedene Farben im Sonnenbilde anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, lichtblaue, indigoblaue und violette. Dieſe folgenreiche Erſcheinung läßt ſich zwar mit einem Pris-

ma von jeder durchſichtigen, brechenden Materie hervorbringen; um ſie aber in ihrer ganzen Reinheit darzuſtellen, ſoll man dem Lichtſtrahle durch einen Helioſtat eine unveränderliche Richtung geben, ein ganz reines Prisma, deſſen brechender Winkel wenigſtens 60° beträgt und welches vollkommen ebene Wände hat, nehmen und es ſo nahe als möglich an die Öffnung ſtellen. Will man dem Bilde alle Undeutlichkeit nehmen, die der Halbſchatten mit ſich bringt; ſo fange man das Licht zuerſt mit einer Sammellinſe auf, damit es in ihrem Brennpuncte zu einem ſchattenloſen Bilde vereinigt werde, und laſſe es erſt dann auf das Prisma gelangen.

Um die Schönheit jeder einzelnen Farbe recht bewundern zu können, fange man den vom Prisma gebrochenen Strahl mit einem Glaskegel auf, deſſen Spitze gegen das Prisma gekehrt iſt; denn da erſcheint nach Verhältniß der Entfernung des Kegels von der Tafel, die das Bild auffängt, bald der eine bald der andere Farbenſtreifen als farbiger Kreisbogen.

39. Aus dieſer Erſcheinung folgt unmittelbar: 1) Daß ein Sonnenſtrahl aus Theilen von verſchiedener Brechbarkeit beſtehe, indem offenbar die Strahlen bei *r* viel weniger gebrochen werden, als die bei *v*. 2) Daß die Strahlen, deren Brechbarkeit um eine gewiſſe Größe verſchieden iſt, in uns die Empfindung verſchiedener Farben erregen. Um dieſe Folgerungen ganz ſicher zu ſtellen, und jedem Einwurfe vorzubeugen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical ſtehendes fallen. Waren die aufgeſtellten Sätze richtig, ſo mußte das neue Sonnenbild dasſelbe Farbenſpiel zeigen, wie das erſte, und wenn dieſes vertical ſtand, wie *rv* in Fig. 189, und in *r* den rothen, in *v* den violetten Streifen hatte, ſo mußte jenes ſchief ſtehen, wie *r′v′*, und in *r′* roth, in *v′* violett erſcheinen. Die Erfahrung entſprach dieſer Vorausſetzung auf das genaueſte und beſtätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwiderſprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel *A* (Fig. 190) auffallen, die eine kleine Öffnung hat, ſo wird der auf die Öffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen ſolchen Strahl mit einem zweiten Prisma *B* auf, ſo wird er wohl gebrochen und zwar deſto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle abſteht und ſich dem violetten nähert, er erſcheint aber unter derſelben Farbe, wie vor der neuen Brechung. Man kann dieſes als einen neuen Beweis für die vorhin

angeführte Folgerung anſehen und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtſtrahl, welcher die Eigenſchaft hat, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, dieſe Eigenſchaft durch Brechung nicht verliere.

40. Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt ſich derſelbe Zuſammenhang zwiſchen Erregung einer beſtimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt ſich davon ſehr leicht, wenn man auf eine weiße Tafel zwiſchen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke mahlt, wovon z. B. eines roth, das andere grün iſt. Sieht man ſie mit einem dreiſeitigen Prisma an, deſſen brechender Winkel abwärts gekehrt iſt, ſo erſcheint das grüne höher als das rothe, zum Beweiſe, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von dieſem kommenden gebrochen werden.

41. Man kann die Anzahl der verſchieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenſtrahl beſteht, nicht angeben, ſie iſt unendlich groß; denn beſtünde er aus einer endlichen Anzahl ſolcher Strahlen, ſo könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erſcheinen, es würden ſich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an deſſen Seite man die kreisförmig gebogenen Einſchnitte bemerken könnte, wie in Fig. 200. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenſtrahl beſtehe aus ſieben Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit, können darunter nur ſolche verſtehen, die in uns die Empfindung weſentlich verſchiedener Farben erregen. Allein ſelbſt jene Strahlen, die im Allgemeinen nur e i n e Farbenempfindung erzeugen, beſtehen aus verſchieden brechbaren Theilen, weil jenes Licht, welches der rothen Grenze des Farbenbildes näher liegt, auch eine geringere Brechbarkeit hat, als das mehr davon entfernte. Die Erfahrung, daß man durch eine Miſchung von Roth, Gelb und Blau, oder von Roth, Grün und Violett eine Farbe erzeugen kann, wie die des unzerlegten Sonnenſtrahls, berechtiget keineswegs zu dem Schluſſe, daß derſelbe nur aus dieſen Strahlen beſtehe. Läßt man vom weißen Lichte eine oder mehrere Farben weg, ſo bleibt eine andere übrig, die mit jener das Weiß wieder herſtellt. Solche Farben, die ſich gegenſeitig zu Weiß ergänzen, heißen c o n p l e m e n t ä r e Farben. Es läßt ſich leicht einſehen, daß die complementäre Farbe von Roth Grün, von Orange Blau, von Gelb Violett ſey; läßt man nämlich alles

Roth, d. h. den eigentlich rothen Antheil, das Roth im Orange und Violett weg, ſo bleibt nur, Gelb, Gelb, Grün, Blau, Blau, mithin als Reſultat aller zuſammengenommen Grün, und ſo von den übrigen Farben. (*Mayer comm. de affinitate colorum; in opp. ined. Goett.* 1775. Wünſch Verſuche und Beobachtungen über die Farben des Lichtes. Leipzig, 1792.)

42. Man darf aber nicht glauben, daß das Licht eines Farbenbildes, welches man auf die vorhin genannte Weiſe erhält, ſchon gleichartiges Licht ſey. Bei dem gewöhnlichen Verfahren ſteht ſelbſt beim Gebrauche des beſten Prisma's die Ausdehnung der Öffnung am Fenſterladen und die des leuchtenden Körpers der Entwicklung homogener Farben im Wege. Dieſe Umſtände machen nämlich, daß eine Art von Strahlen größtentheils in die nächſt vorhergehende fällt und mehrere farbige Strahlen unter einander gemengt erſcheinen. Man würde aber ein Farbenbild von vollkommen homogenen Farben erhalten, wenn man den durch ein Prisma in ein Farbenbild zerlegten Strahl durch eine Sammellinſe leitete, welche die Eigenſchaft hat, alle parallelen Strahlen in einen Punct zu vereinigen, und das Bild, welches dieſe Linſe macht, auf einer Wand auffinge, oder noch beſſer mit einer zweiten Linſe anſähe. Die von dem berühmten Künſtler Fraunhofer verfertigten, achromatiſchen Linſen (von denen in der Folge die Rede ſeyn wird), haben obige Eigenſchaft und man wird daher durch ein ſogenanntes achromatiſches Fernrohr das Farbenbild mit vollkommen homogenen Farben ſehen.

43. Stellt man in ein verfinſtertes Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines achromatiſchen Fernrohres und läßt durch eine ſchmale aber hohe Öffnung Sonnenlicht auf dasſelbe fallen, bei einer ſolchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Öffnung deutlich ſieht und einer ſolchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demſelben Winkel verlaſſen, unter dem ſie auffallen; ſo erblickt man in dem horizontal ſtehenden Farbenbilde, wie Fraunhofer zuerſt zeigte, unzählige ſtarke und ſchwache verticale Linien, die dunkler ſind als der übrige Theil des Farbenbildes; einige davon ſind ſogar völlig ſchwarz. Dieſe Linien ſind immer und zwar in derſelben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma beſteht und was es für einen brechenden Winkel habe, nur

nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältniſſe mit der Größe des Farbenbildes ab und zu. Man kann daher mit Gewißheit behaupten, daß ſie dem aus homogenem Lichte beſtehenden Farbenbilde eigen ſeyen. Bei dieſem Verſuche kann man auch den großen Unterſchied in der Intenſität der verſchiedenfarbigen Strahlen viel deutlicher erkennen, als es an einem auf die gewöhnliche Weiſe erzeugten Farbenbilde möglich iſt. Wenn man den blauen und violetten Theil recht bequem ohne Ermüdung des Auges anſehen kann, ſo hat der gelbe Antheil eine für das Auge unerträgliche Lichtſtärke und man muß die Öffnung am Fenſter verkleinern, um auch hier die zur Beobachtung paſſende Helligkeit zu Stande zu bringen. Nach Fraunhofer läßt ſich die Lichtſtärke der verſchiedenen Farbenſtellen im Spectrum durch folgende Zahlen ausdrücken: Äußerſtes Roth 32, Mitte desſelben 94, Orange 640, zwiſchen Gelb und Orange 1000, Grün 480, Lichtblau 170, zwiſchen Blau und Violett 31, Mitte von Violett 5, 6. (Suppl. S. 434.)

44. Es iſt klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtender Körper analyſiren kann. Faſt alle geben ein Bild mit mehreren Farbenſtreifen; nur das Licht einer Flamme von ſehr ſtark verdünntem Weingeiſte iſt nach Brewſter ganz homogen gelb, und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrſcht und keine durch dunkle Linien unterbrochen iſt. Dieſem ähnlich ſind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin und mehrere andere feſte Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen faſt lauter homogenes gelbes Licht, ſobald aber die Heftigkeit des Verbrennens nachläßt, erſcheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird er mit Salpeter gemiſcht und angezündet, ſo gibt er ein Farbenbild mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt und davon durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt iſt. Ihr Licht iſt weniger brechbar, als der am wenigſten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie ſcheint vom Kali herzurühren und allen Kaliſalzen zuzukommen, gleichwie die Natronſalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte, im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren beinahe gleich breiten intenſiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen beſtehendes Spectrum; ſalpeterſau-

rer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hell glänzenden, dunkelblauen, iſolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte zeigt ſich zwiſchen Roth und Gelb ein lichter Streifen, und ein ähnlicher, nur minder ſcharf begrenzter im Grün; im Lichte des Sirius zeigen ſich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau ſind. Caſtor gibt ein Farbenbild wie Sirius, Pollux gibt viele ſchwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigeuze, Procyon aber ſehr wenige. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Ähnlichkeit mit dem Sonnenlichte.

45. Verbindet man alles das, was in dieſem Kapitel über das Licht geſagt wurde, ſo erſieht man daraus als unwiderſprechliche Thatſachen: 1) daß ſowohl das directe als reflectirte Sonnenlicht, wie auch das vieler anderer leuchtender Körper, welches wir demſelben Verſuche unterwerfen können, aus heterogenen Strahlen beſtehe, wovon einige brechbarer ſind als die anderen. 2) Daß jedem Strahle, der eine beſtimmte Farbenempfindung erregt, eine beſtimmte Brechbarkeit entſpreche, ſo daß man wegen der innigen Verbindung dieſer zwei Eigenſchaften auch die Strahlen durch die Farben benennen kann, welche dem Grade ihrer Brechbarkeit entſprechen.

Aus dieſem erklären ſich leicht die Erſcheinungen, welche man wahrnimmt, wenn man einen Körper durch ein Prisma anſieht, z. B. warum ein ſchwarzes Quadrat auf weißem Grunde an einem Ende roth, am anderen blau und violett erſcheint; warum ein ſchmaler, weißer Papierſtreifen durch das Prisma aus mehreren gefärbten, parallelen Streifen beſtehend erſcheint; warum ſich ein breiter Streifen nur am Rande gefärbt, in der Mitte weiß zeigt u. ſ. w.

46. Wenn die Grenzen der einzelnen Farben im Spectrum genau beſtimmt wären, ſo könnte man den Brechungsexponenten n für die äußerſten Strahlen jedes Farbenſtreifen finden und die Grenzen der Brechbarkeit angeben, innerhalb welchen jeder Strahl dieſelbe Farbenempfindung erzeugt. Dieſes iſt aber nicht der Fall und es gibt in einem Spectrum vom Sonnenlichte nichts ſcharf Begrenztes und genau dem Orte nach Beſtimmbares als die dunklen Fraunhofer'ſchen Linien. Darum kann man auch nur die den Stellen dieſer Linien entſprechenden Brechungsexponenten mit Schärfe beſtimmen. Iſt a der Einfallswinkel eines Strahles in ein zerſtreuendes Mittel, b' der Brechungswinkel für die gelben, B und b derſelbe für die violetten und rothen Strahlen; ſo iſt die Ablen-

kung des gelben Strahles $= b' - a$, jene des violetten und rothen $B - a$ und $b - a$, und daher $B - b$ der Ablenkungsunterſchied zwiſchen dem violetten und dem rothen, d. h. die Größe der Zerſtreuung der äußerſten Farben des Spectrums. Für kleine Werthe von $B - b$ kann man dieſe Größe mit $\sin B - \sin b$ vertauſchen. Heißen demnach die Brechungsexponenten für den violetten, rothen und gelben Strahl nach der Ordnung N, n und n', ſo daß man hat: $\sin a : \sin B = 1 : N$; $\sin a : \sin b = 1 : n$ ꝛc., ſo iſt $\sin B = N \sin a$, $\sin b = n \sin a$ und daher die Zerſtreuung der äußerſten Strahlen

$$\sin B - \sin b = (N - n) \sin a.$$

Es iſt daher dieſe Zerſtreuung dem Unterſchiede der Brechungsexponenten der betreffenden Strahlen proportionirt. Das Zerſtreuungsverhältniß der äußerſten Strahlen gegen die gelben iſt offenbar

$$\frac{\sin B - \sin b}{\sin b' - \sin a} = \frac{(N - n) \sin a}{(n' - 1) \sin a} = \frac{N - n}{n' - 1}.$$

Dieſer Ausdruck heißt das Zerſtreuungsvermögen. (Mittel zur Beſtimmung der Farbenzerſtreuung im Suppl. S. 447 u. f.)

47. In Betreff der Farbenzerſtreuung und ihres Zuſammenhanges mit der Brechung des Lichtes in einem Mittel hat die Erfahrung Folgendes gelehrt: Wenn in demſelben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Änderung der Begrenzung dieſes Mittels oder des Einfallswinkels vergrößert oder verkleinert wird; ſo wird auch in demſelben Verhältniſſe die Größe der Farbenzerſtreuung größer oder kleiner, oder es ändert ſich die Größe N in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich n ändert. Dieſes gilt aber nicht mehr, wenn ſich die Natur des Mittels ändert. Iſt in einem Mittel n größer als in einem anderen, ſo iſt zwar auch N und $N - n$ in jenem größer als in dieſem; aber es wachſen die Größen N und n nicht mehr in demſelben Verhältniſſe, d. h. es ändert ſich die Farbenzerſtreuung nicht in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geſchloſſen werden und jede muß durch eigene Verſuche ausgemittelt werden. Das Zerſtreuungsverhältniß zweier Mittel iſt nicht für alle farbige Strahlen dasſelbe und man kann daher nicht, wenn dieſes Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben iſt, davon auf das für einen anderen Strahl ſchließen, ſondern man muß jedes eigens beſtimmen.

Brechende und zerſtreuende Kraft einiger Körper.

A. Feſte und tropfbare Körper.

Name	Dichte	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$	$\frac{N-n}{n^2-1}$
Diamant	3.521	2.487	5.185	1.473	0.038
Phosphor	1.770	2.224	3.946	2.230	0.128
Schwefelkohlenſtoff . .	1.272	1.643	1.699	1.336	0.048
Terpentinöhl	0.885	1.476	1.178	1.332	0.042
Alkohol	0.825	1.374	0.885	1.076	0.029
Zucker	1.606	1.554	1.415	0.943	0.036
Waſſer	1.000	1.336	0.785	0.785	0.035
Schwefelſäure	1.841	1.440	1.074	0.583	0.031
Salpeterſäure	1.480	1.406	0.977	0.660	0.045
Salzſäure	1.156	1.376	0.893	0.776	0.043
Saphir	4.000	1.794	2.218	0.554	0.026
Topas, gelber	3.550	1.638	1.684	0.474	0.025
Beryll	2.650	1.598	1.5536	0.586	0.037
Flintglas	3.723	1.639	1.687	0.453	0.05
Crownglas	2.520	1.544 1.534	1.384 1.353	0.549 0.537	0.036

B. Gaſe bei 0° C. und 28 P. Z. Barometerſtand.

Name.	n	n^2-1	d	$\frac{n^2-1}{d}$
Atmoſphäriſche Luft	1.000294	0.000589	1.000	0.000589
Sauerſtoffgas	1.000272	0.000544	1.105	0.000493
Waſſerſtoffgas	1.000138	0.000277	0.068	0.004073
Stickgas	1.000300	0.000601	0.976	0.000616
Ammoniakgas	1.000385	0.000771	0.591	0.001304
Kohlenſäuregas	1.000449	0.000899	1.524	0.000581
Chlorgas	1.000772	0.001545	2.470	0.000624
Salzſäuregas	1.000449	0.000899	1.254	0.000717
Stickſtoffoxydgas	1.000503	0.001007	1.527	0.000659
Salpetergas	1.000303	0.000606	1.039	0.000583
Kohlenoxydgas	1.000340	0.000681	1.992	0.000342
Cyangas	1.000834	0.001668	1.818	0.00092
Öhlbildendes Gas	1.000678	0.001356	0.980	0.001384
Sumpfgas	1.000443	0.000886	0.559	0.001602
Salzätherdunſt	1.001095	0.002191	2.234	0.000098
Blauſäuregas	1.000451	0.000903	0.944	0.000096
Phosphorgas	1.001159	1.002318	3.442	0.000067
Schwefeligſaures Gas . . .	1.000665	0.001331	2.247	0.000059
Schwefelwaſſerſtoffgas . . .	1.000644	0.001288	1.178	0.001093
Schwefelätherdunſt	1.00153	0.003061	2.580	0.001185
Schwefelkohlenſtoffdunſt . . .	1.00150	0.003010	2.644	0.001138
Phosphorwaſſerſtoffgas im Min.	1.00789	0.001579	1.256	9.001249

Das Farbenzerſtreuungsvermögen des Glaſes wird durch einen Zuſatz von Blei bedeutend erhöht. Bleihaltiges Glas, ſogenanntes Flintglas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerſtreuung, welche im Durchſchnitte ſich zu der des Crown- oder Spiegelglaſes wie 2 : 1 verhält. Bei engliſchem Flintglaſe iſt dieſes Verhältniß 1.5 : 1; bei Waſſer und Crownglas wie 1 : 1.56. Verſchiedene Flintglasgattungen haben auch ein verſchiedenes Zerſtreuungsvermögen und zwar in der Regel ein deſto größeres, je dichter ſie ſind. Bei den Flintglasſorten, die Fraunhofer (Gilb. Ann. 56. 292.) mit Nr. 13, 3, 30 und 23 bezeichnet, ſind die Zerſtreuungsverhältniſſe gegen Crownglas Nr. 9 nach der Ordnung 2.09, 1.84, 2.04, 2.08, und ihre ſpeciſiſchen Gewichte 3.723, 3.512, 3.695, 3.724. Bei der Sorte 13 war das Zerſtreuungsverhältniß gegen Crownglas Nr. 9 für die rothen Strahlen 2.56, für die orangen 2.87, für die gelben 3.07, für die lichtblauen 3.19, für die dunkelblauen 3.46, für die violetten 3.73. Schwefel, Phosphor und die Metallſalze haben ein ſehr großes Brechungs- und Zerſtreuungsvermögen; Edelſteine brechen das Licht ſtärker als Flintglas, zerſtreuen es aber weniger als Waſſer. Harze, Gummi, Öhle und Balſame zerſtreuen und brechen das Licht beinahe in einerlei Verhältniß ſtärker als Waſſer. Die Öhle verdanken ihr großes Zerſtreuungsvermögen wahrſcheinlich dem Waſſerſtoffe, wenigſtens überzeugte ſich Herſchel, daß das Zerſtreuungsvermögen des Caſſiaöhles faſt um die Hälfte vermindert wurde, nachdem man ihm mittelſt Chlor Waſſerſtoff entzogen hatte. Salzſäure, Salpeterſäure und ſalpetrige Säure zerſtreuen es mehr, Schwefelſäure, Phosphorſäure, Citronen- und Weinſteinſäure weniger als Waſſer. Ein ungemein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzen der Flußſpat, der Chryſolith und der Topas. (Gilb. Ann. 50. 129.)

48. Die Erſcheinungen der Farbenzerſtreuungen erklären die Anhänger der Emanationshypotheſe aus einer Verſchiedenheit der Maſſe einzelner Lichttheilchen und aus der ihr entſprechenden Anziehungskraft zwiſchen den Körpern und den Lichttheilen. Nach der Vibrationshypotheſe muß die Lichtwelle, welche die Empfindung der weißen Farbe in uns erregt, bei der Brechung in Wellen von verſchiedener Länge zerlegt werden, ſo daß die Farbenempfindung mit der Länge der Wellen in demſelben Mittel auf gleiche Weiſe zuſammenhängt, wie die Höhe eines Tones mit der Länge der Schallwellen. Die kürzeſten Wellen müſſen der violetten, die längſten der rothen Farbe entſprechen. Man hat ſogar die abſoluten Werthe der Länge jeder Welle kennen gelernt, ſo daß der Analyſis nur mehr übrig bleibt zu zeigen, wie eine Welle, welche dem weißen Lichte entſpricht, durch Brechung in mehrere von verſchie-

dener Länge zerlegt werde. Bis jetzt iſt man noch weit von dieſem Ziele; im Gegentheile ergibt ſich aus den bereits angeſtellten Rechnungen, daß eine Welle nach der Brechung eben ſo einerlei Länge beibehält, wie vor derſelben. Allein dieſe Rechnungen ſind nach der Vorausſetzung angelegt, daß die Fortpflanzung der Bewegung im Äther unendliche Male ſchneller erfolge, als die Schwingung des dieſe Bewegung erregenden Körpers, eine Vorausſetzung, die wohl beim Schalle gemacht werden kann, aber beim Lichte der Natur nicht gemäß zu ſeyn ſcheint. Für jetzt hat dieſe Erklärung nur die Analogie mit der Fortpflanzung der Waſſerwellen für ſich, bei denen auch die breitere ſchneller fortſchreitet als die minder breite. (Rudberg in Pogg. Ann. 9. 483. Bigeon in *Ann. de Ch.* 37. 440.)

Fünftes Kapitel.

Brechung des Lichtes in ſphäriſchen Linſen.

49. Eine ſphäriſche Linſe iſt ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derſelben, und zwar 1) beiderſeits erhabene (Fig. 191. (*a*); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (*b*), 3) auf beiden Seiten hohle (*c*), 4) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (*d*), 5) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle (*e* und *f*). Die Linie *AB*, in welcher die Mittelpuncte der Krümmungen einer Linſe liegen, heißt ihre Axe, ein Punct der Axe in der Mitte der Linſe heißt der optiſche Mittelpunct, und eine Linſe heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um dieſe Axe ſymmetriſch liegen. Nur von ſolchen Linſen ſoll hier die Rede ſeyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinſen an, verfertigt ſie aus weißem Spiegelglaſe, oder zu einem beſonderen Zwecke aus dem ſogenannten Flintglaſe, wohl auch aus gläſernen Schalen, die mit einer durchſichtigen Flüſſigkeit gefüllt werden. Fresnel ſchlug Linſen vor, die aus mehreren Ringen (polyzonale Linſen) zuſammengeſetzt werden. In beſonderen Fällen ſind Linſen aus reinen durchſichtigen Edelſteinen von großem Nutzen.

50. Ein Lichtſtrahl *Sx* (Fig. 192), welcher in der Richtung der Axe auf eine convexe Linſe fällt, geht ungebrochen durch dieſelbe, weil die Tangenten der Puncte *A* und *B*, welche er trifft,

mit einander parallel ſind und es daher gerade ſo iſt, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um dieſe zu beſtimmen, ſey SDy ein Strahl, der mit der Axe einen ſehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpuncte der Krümmungen der Linſe, D der Einfallspunct des Strahles Sy, Dc das Einfallsloth, DGE die Richtung des Strahles nach der erſten Brechung, G der Einfallspunct beim Austritte aus der Linſe, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n das Brechungsverhältniß. Man nenne der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachläſſige die Dicke AB der Linſe, und ſetze $SD = SA$, welches bei der vorausgeſetzten, ſehr geringen Divergenz der Strahlen wohl angenommen werden kann. Man hat $\frac{SD}{Sc} = \frac{\sin DcC}{\sin SDc}$, $\frac{cE}{DE} = \frac{\sin cDE}{\sin DcE}$, $n = \frac{\sin SDc}{\sin EDc}$, mithin

$$\frac{SD.cE.n}{Sc.DE} = \frac{\sin DcC.\sin cDE.\sin SDc}{\sin SDc.\sin DcE.\sin EDc} = 1$$

$SD.cE.n = Sc.DE$, d. i. $a\,(k-g)\,n = (a+g)\,k$,

$$k = \frac{ang}{an-a-g} \quad (1)$$

Auf gleiche Weiſe erhält man:

$$\frac{GE}{CE} = \frac{\sin GCE}{\sin CGE}, \quad \frac{CF}{GF} = \frac{\sin CGF}{\sin GCF}$$

$\frac{1}{n} = \frac{\sin CGE}{\sin CGF}$, und durch Multiplication

$$\frac{GE.CF}{CE.GF.n} = \frac{\sin GCE.\sin CGF.\sin CGE}{\sin CGE.\sin GCF.\sin CGF} = 1$$

$GE.CF = CE.GF.n$ und $k(f+\alpha) = (f+k)\,\alpha n$,

$$k = \frac{\alpha nf}{f+\alpha-\alpha n} \quad (2),$$

mithin aus 1 und 2

$$\frac{ang}{an-a-g} = \frac{\alpha nf}{f+\alpha-\alpha n}, \quad \frac{an-a-g}{ag} = \frac{f+\alpha-\alpha n}{\alpha f}$$

das iſt

$$\frac{(n-1)}{g} - \frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha} - \frac{n-1}{f} \text{ oder } (n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - \frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha} \quad (A)$$

51. Aus dieſer Formel kann man die Brechungsgeſetze des Lichtes in Linſen für Strahlen, die von der Axe ſehr wenig abweichen,

leicht beſtimmen. Man hat 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$ d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen ſich in einem Puncte hinter der Linſe. Man heißt dieſen Punct den **Brennpunct** *(focus)*, und ſeine Entfernung von der Linſe die **Brennweite**. Setzt man die Brennweite $= p$, ſo wird

$$(n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) = \frac{1}{p} \qquad (B)$$

und daher aus *(A)*

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha} \qquad (C)$$

2) Je kleiner a iſt, deſto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punct an die Linſe rückt, oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto weniger convergirend ſind ſie nach der Brechung. 3) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct im Brennpuncte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 4) Für $a < p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite befindet, ſo bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 5) Hat a einen negativen Werth, ſo iſt $\frac{1}{p} + \frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha}$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Convexlinſe noch mehr convergirend gemacht. Man ſieht hieraus, daß in den Fällen 1, 4, 5, ein Bild des leuchtenden Punctes in der Axe entſteht.

52. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht ſo wie die vorher betrachteten durch die Linſe in einem Puncte vereinigt werden. Fallen z. B. mehrere ſolche Strahlen auf die Linſe Fig. 193 auf, und ſchneiden die der Axe AB nächſten dieſelbe in F, ſo werden die andern, mehr abweichenden ſich einander in f', f, f''', f'' ſchneiden, und ſo zu beiden Seiten der Axe die ſymmetriſche Curve $ff'Ff'''f''$ bilden, welche man Brennlinie *(Caustica)* nennt. Dieſe Abweichung kommt von der Geſtalt der Linſe her und heißt **Abweichung wegen der Kugelgeſtalt** (ſphäriſche Abweichung). Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abſtehenden Strahlen hinter der Linſe ein deutliches Bild des leuchtenden Punctes. Will man daher ein ſolches Bild erhalten, ſo muß man die gegen den Rand der Linſe einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten und der Lin-

ſe ſolche Krümmungen geben, daß dieſe Abweichung ein Kleinſtes werde. (Suppl. S. 403—410.)

Bei zwei nahe an einander geſtellten Linſen kann man nach Herſchel (*Phil. transact.* 1821.) dieſe Abweichung ganz heben, bei einer gleichſeitigen Linſe iſt dieſe Abweichung größer als bei einer ungleichſeitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt iſt, als wenn das Gegentheil Statt findet, bei einer Convexplan- oder bei einer Concavplanlinſe, deren Planſeite gegen das Auge gewendet wird, iſt die Abweichung faſt ſo klein, wie bei einer Linſe, wo ſie auf das Minimum gebracht iſt.

53. Linſen, welche auf einer Seite convex, auf der anderen eben ſind, können ſo angeſehen werden, als hätten ſie an der planen Seite eine Kreiskrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel 51. (B) $f=\infty$, ſo erhält man $\frac{n-1}{g}=\frac{1}{p}$, und erſieht daraus, daß die für beiderſeits convexe Linſen aufgeſtellte Formel auch für planconvexe gilt, und daß der ganze Unterſchied im Werthe der Brennweite beſteht, der bei übrigens gleichen Umſtänden für jene immer kleiner als für dieſe iſt. Dieſelbe Formel gilt auch für convexconcave Linſen, wenn man einen Radius negativ nimmt und ſie in $(n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right)=\frac{1}{p}$ umſtaltet. Iſt nun $f<g$, d. i. der Radius der Convexität kleiner als jener der Concavität, ſo gehört die Linſe in die Reihe der zwei vorigen und kann mit ihnen Sammellinſe genannt werden, weil dieſe drei Gattungen die Strahlen immer convergirend zu machen ſuchen. Sie heißen auch Brenngläſer, weil ſie das Sonnenlicht im Brennpuncte ſo concentriren, daß man daſelbſt Körper verbrennen kann. Tſchirnhauſen, der es in der Verfertigung der Brenngläſer ſehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Öffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläſer macht man am leichteſten aus zwei Uhrſchalen, die man zuſammenſetzt und mit Waſſer oder Weingeiſt ausfüllt. Im Brennraume ſolcher Linſen können Metalle geſchmolzen und Erden verglaſet werden.

54. Für eine beiderſeits hohle Linſe wird ſowohl der eine als der andere Halbmeſſer negativ. Deßhalb gelten für ſie die Formeln:

$$(n-1)\left(-\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right)=\frac{1}{p}$$

und

$$(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right)=-\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}\right).$$

Setzt man $a=\infty$, ſo wird $-\frac{1}{p}=\frac{1}{\alpha}$ und $\alpha=-p$, d. h. Strahlen, welche auf eine ſolche Linſe parallel auffallen, werden durch die Brechung ſo divergirend, als kämen ſie von einem Puncte vor der Linſe her. Dieſer Punct iſt wieder der **Brennpunct** des Glaſes und ſeine Entfernung von der Linſe die **Brennweite**. Man nennt ihn nicht ſelten den **imaginären Brennpunct**, weil ſich daſelbſt die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen, aber poſitiven Werth hat, iſt α negativ und $a>\alpha$, d. i. divergirend auf dieſe Linſe auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Iſt a negativ, d. h. fallen die Strahlen convergirend auf; ſo wird $\frac{1}{a}-\frac{1}{p}=\frac{1}{\alpha}$. Iſt $a>p$, ſo wird α negativ, oder die Strahlen werden divergirend. Iſt $a=p$, ſo wird $\alpha=\infty$ oder die Strahlen werden parallel. Iſt endlich $a<p$, ſo wird α poſitiv oder die Strahlen bleiben convergirend, ſind es aber weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f=\infty$ ſetzt und aus obiger Formel $-\frac{(n-1)}{g}=\frac{1}{p}$ macht, ſo hat man ſie für eine planconcave Linſe eingerichtet, und kann daraus erſehen, daß eine ſolche Linſe im Allgemeinen dieſelben Wirkungen hervorbringt, wie eine beiderſeits concave. Iſt f poſitiv, g negativ und überdieß $f>g$, ſo gilt die Formel $(n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right)=\frac{1}{p}$ für eine concavconvexe Linſe, wovon der Halbmeſſer der Convexität größer als jener der Concavität iſt, und zeigt, daß ſie ebenfalls in die Klaſſe der zwei ſo eben betrachteten gehört. Alle drei zuſammen begreift man unter dem Worte **Zerſtreuungslinſen**.

55. Die in 51 angegebene Gleichung gilt auch für einen Punct, der außer der Axe, aber in einer ſehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieſes zu beweiſen, ſey Ma (Fig. 194) die Axe der Linſe, S der leuchtende Punct außer ihr, C das optiſche Cen-

trum, *Ss* ein Strahl durch *C*, *SB* ein anderer Strahl, und *Bs* ſein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie *BS*, bis ſie die Axe in *A* ſchneidet, und eben ſo *sB* nach Belieben bis *E*, ſo iſt $BSs + BsS = BDA + BAD$, weil jede dieſer Summen gleich *EBA* iſt. Liegt nun *S* in einer ſehr geringen Entfernung von der Axe, und *SB* wenig gegen *Ss* geneigt; ſo kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt ſetzen und *BC* auf *SC* ſenkrecht annehmen. Dieſem gemäß iſt

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BDA = \frac{BC}{CD},\ BAD = \frac{BC}{AC},$$

und daher $\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{CD} + \frac{BC}{AC}$ oder

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{CD} + \frac{1}{AC}$$

Befände ſich der leuchtende Punct in *A*, ſo wäre (nach 51, 1)

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p},\ \text{mithin iſt auch}\ \frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}.$$

Es entſteht daher auch von einem leuchtenden Puncte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denſelben Umſtänden, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den leuchtenden Punct und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie.

56. Befindet ſich außerhalb der Brennweite einer Sammellinſe ein leuchtender Gegenſtand, wovon kein Punct gar weit außer der Axe der Linſe liegt, ſo entſteht von jedem Puncte ein Bild hinter der Linſe, in einer durch ihn und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Puncte geben ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes. Wäre z. B. *AB* (Fig. 195) eine Sammellinſe, *F* ihr Brennpunct, *Ss* ein Gegenſtand; ſo entſteht von *S* das Bild *s'*, von *s* das Bild *S'*, und die Bilder der zwiſchen *S* und *s* liegenden Puncte befinden ſich zwiſchen *s'* und *S'*, ſo daß *S's'* das Bild von *Ss* vorſtellt. Iſt *C* der optiſche Mittelpunct, ſo wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{Cs'}$. So lange alſo $CS > Cs'$, iſt auch $Ss > S's'$. Man ſieht hieraus, daß das Bild deſto größer erſcheinen wird, je näher der Gegenſtand an den Brennpunct rückt. Befindet ſich unter derſelben Vorausſetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenſtand in-

nerhalb der Brennweite einer Sammellinſe; ſo entſteht ein imaginäres Bild vor der Linſe in einer größeren Entfernung, als die des Gegenſtandes iſt. Dieſes Bild erſcheint aufrecht und vergrößert. Iſt wieder *AB* (Fig. 196) eine Sammellinſe, *FC* ihre Axe, *F* ihr Brennpunct, *C* der optiſche Mittelpunct, *Ss* ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint das Bild von *s* in *s'*, das von *S* in *S'*, mithin das ganze Bild von *Ss* in *S's'*. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{Cs'}{Cs}$ iſt, ſo muß *S's'* immer größer als *Ss* erſcheinen, und zwar deſto mehr, je näher *Ss* an die Linſe rückt.

57. Zerſtreuungslinſen geben von einem leuchtenden Gegenſtande, er mag ſich außerhalb oder innerhalb der Brennweite oder gar im Brennpuncte ſelbſt befinden, ein aufrechtes Bild vor der Linſe, das ihr näher liegt als der Gegenſtand und deßhalb ſtets verjüngt erſcheint. Iſt *AB* (Fig. 197) eine Zerſtreuungslinſe, *FC* ihre Axe, *C* der optiſche Mittelpunct, *Ss* ein leuchtender Gegenſtand, ſo erſcheint *s* in *s'*, *S* in *S'* und *Ss* in *S's'*. Wegen $Cs' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ ſeyn.

58. Der Umſtand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit ſeiner Eigenſchaft, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, ſo innig zuſammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerſtreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß iſt, hat dieſe Zerſtreuung auf unſere Empfindung freilich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtſtrahl von ſeiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da iſt dieſer Einfluß auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes des Gegenſtandes, von dem das Licht kömmt, ſehr groß. Es ſey *S* (Fig. 198) ein leuchtender Punct, der weißes Licht auf die Sammellinſe *AB* ſendet. Dieſes Licht wird bei der Brechung zerſtreut, die brechbarſten Strahlen vereinigen ſich in *v*, die von mittlerer Brechbarkeit in *f*, die am wenigſten brechbaren in *r*, ſo daß alle zuſammen, abgeſehen von der Abweichung wegen der Geſtalt des Glaſes, ſich nicht mehr in einem Puncte vereinigen, ſondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreiſes vom Durchmeſſer *CD* liegen, den man Abweichungskreis nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Öffnung nahe an den Brennpunct einer Sammellinſe, die in einem verfinſterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; ſo werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die

anderen durch die Öffnung gehen und auf einer Tafel aufgefangen, ein ſchönes Farbenſpiel gewähren. Noch herrlicher wird dieſe Erſcheinung, wenn man ſtatt der runden Öffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 199 zeigt. Es gibt daher an Linſen außer der ſphäriſchen Abweichung auch noch eine wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man chromatiſche Abweichung nennt. Sie iſt in der Regel bei den gewöhnlichen Linſen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umſtand Statt fände, daß ſich das von einem Puncte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreiſes gleichmäßig vertheilt, ſondern im Mittelpuncte f am ſtärkſten iſt und gegen den Umfang hin beſtändig abnimmt, ſo daß es am Umfange ſelbſt unendlichmal ſchwächer als im Mittelpunct iſt; nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunct dieſes Kreiſes, alle äußerſten ſind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrührenden Undeutlichkeit durch den Halbmeſſer des Kreiſes, in welchem ſich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punct vereiniget würden. Er heißt darum auch der Halbmeſſer der Undeutlichkeit. — Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit verſteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, ſondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen ſchwächer iſt, als auf der Seite der rothen und weil man bei der Beſtimmung der Farbenzerſtreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, ſtets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinſtimmt.

59. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinſe, ſo werden alle von jedem einzelnen Puncte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weiſe geſammelt, die Kreiſe der an einander grenzenden Puncte decken ſich zum Theile (Fig. 200) und verurſachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die deſto größer iſt, je mehr die farbigen Strahlen zerſtreut werden und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreiſe jedes Punctes vertheilt iſt.

60. Außer dieſer Undeutlichkeit der Bilder verurſacht die ver-

ſchiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewiſſe Farbenerſcheinungen. Iſt z. B. *AB* (Fig. 201), ein Gegenſtand, der weißes Licht auf die Sammellinſe *CD* ſendet und ſich außer ihrer Brennweite befindet, ſo entſteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, ſondern unzählige, in verſchiedener Entfernung von der Linſe und daher auch von verſchiedener Größe, worunter ſechs verſchiedenfarbige unterſchieden werden können; die Ränder liegen aber nicht in einer geraden Linie. Das größte darunter iſt das rothe *rr′*, das kleinſte das violette *vv′*; die übrigen liegen zwiſchen beiden. In der Mitte decken ſich dieſe Bilder und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht ſo am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor und das ganze Bild erſcheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenſtand in der Mitte begrenzt, wie ein Ring, ſo würde ſein Bild eine bläulich violette Einfaſſung haben, weil von dieſer Seite das violette und blaue Bild vorſteht. Erſchiene dem Auge *O* das Bild eines Gegenſtandes *AB* (Fig. 202) vor der Linſe *CD*, ſo müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier iſt das rothe Bild *rr′* der Linſe am nächſten, das violette *vv′* davon am meiſten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinſte, dieſes das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

61. Der nachtheilige Einfluß dieſer verſchiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl ſchon früh denkende Naturforſcher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein ſolches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen falſchen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit desſelben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo dieſe Abweichung nicht Statt zu finden ſchien; aber erſt Dollond (im Jahre 1757) war es vorbehalten, durch Klingenſtierna's Unterſuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen und Linſen mit farbenloſen Bildern, achromatiſche Linſen zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Weſen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Urſache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erſcheint, liegt darin, daß die verſchieden brechbaren Beſtandtheile desſelben mit einander parallel fortgehen und auch zuſammen ins Auge kommen; durch ein dreiſeitiges Prisma wird

der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieſer Paralleliſmus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatiſches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müſſen, dieſen Paralleliſmus wieder herzuſtellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma *A* (Fig. 203), welches den einfallenden weißen Strahl *Sa* in farbige Theile zerlegt, wovon die äußerſten *ab* und *ac* ſind, ein zweites *B*, welches aus einem gleich ſtark brechenden, aber mehr zerſtreuenden Stoffe beſteht, ſo gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengeſetzte Lage haben; ſo wird vom Prisma der violette Strahl *ac* in einem größeren Verhältniſſe abgelenkt, als der rothe *ab*, und da die Ablenkung desſelben Strahles in beiden Prismen nach entgegengeſetzten Richtungen erfolgt, ſo wird es bei einem gewiſſen Verhältniſſe der brechenden Winkel zum Zerſtreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen *cd* und *be* nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieſes wird aber natürlich nur bei einem beſtimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei dieſem achromatiſch ſeyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollſtändig ſeyn können, weil nur die äußerſten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond conſtruirte zuerſt ein achromatiſches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieſes einen Winkel von 19° hatte.

62. Nach denſelben Grundſätzen werden achromatiſche Linſen verfertiget. Es ſey *A* (Fig. 204) eine Convexlinſe aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen ſo convergirend macht, daß ſich die rothen in *r*, die gelben in *g* und die violetten in *v* vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglaſes *B* wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn deſſen Brennweite größer iſt, als die von *A*, ſo vereiniget die Doppellinſe die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in *g'*. Iſt *B* von Flintglas, ſo bringt es wegen der größeren Farbenzerſtreuung die Vereinigungspuncte der rothen und violetten Strahlen näher an *g'*, als es der Fall bei Crownglas geweſen wäre, und bei einem gewiſſen Verhältniſſe zwiſchen den Brennweiten der Linſen und ihrer Farbenzerſtreuung fallen alle dieſe Puncte zuſammen. Dieſes ſetzt aber auch voraus, daß die Farbenzerſtreuung beim Flintglaſe für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglaſe in demſelben

Verhältniſſe ſtehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man ſich gewöhnlich bei achromatiſchen Linſen, die Vereinigungspuncte der äußerſten Strahlen und derjenigen zuſammen zu bringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichſam als die mittleren anzuſehen ſind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus und muß daher oft zur beſſeren Erzielung des beabſichtigten Zweckes eine dreifache Linſe conſtruiren, welche aus zwei convexen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinſe beſteht und wo gleichſam die aus Flintglas und Crownglas beſtehende Doppellinſe zum Achromatiſiren der zweiten Convexlinſe gebraucht wird. Fallen auf eine achromatiſche Linſe parallele Strahlen auf, ſo wird der convexe Beſtandtheil gegen das Object gewendet, treffen es hingegen ſtark divergirende Strahlen, ſo kehrt man den concaven Theil gegen das Object. Statt Flintglas hat man mehrere Flüſſigkeiten in Vorſchlag gebracht, weil es ſchwer hält, große und doch homogene Flintglasſtücke zu erhalten. Schwefelkohlenſtoff ſcheint ſich am beſten hierzu zu eignen, wiewohl Flüſſigkeiten überhaupt gegen ſich haben, daß ſie ſo leicht verdünſten und ſich gar leicht in Schichten von verſchiedener Dichte theilen. (Supp. S. 428—434.)

Sechstes Kapitel.

Interferenz des Lichtes.

63. Die meiſten bisher angeführten Erſcheinungen und Modificationen des Lichtes ſind ſchon lange bekannt und die Phyſiker unſerer Zeit konnten kaum mehr thun, als das ſchon Erkannte neu bekräftigen. Es gibt aber mehrere optiſche Erſcheinungen, deren Entdeckung ganz unſerer Zeit angehört. Von der Art iſt auch das, was man Interferenz des Lichtes nennt. Sie war zwar ſchon lange bekannt, blieb aber völlig unbeachtet, bis in der neueſten Zeit Young (1800) die Aufmerkſamkeit der Phyſiker wieder darauf lenkte. Man verſteht unter dieſem Namen die gegenſeitige Einwirkung der Lichtſtrahlen auf einander bei ihrem Zuſammentreffen.

64. Um dieſe Einwirkung zu erfahren, könnte man durch zwei gleiche und einander nahe Öffnungen an einem Schirme von der-

ſelben Lichtquelle zwei Strahlenkegel in einen verfinſterten Raum leiten und die Durchkreuzungsſtellen der Strahlen beobachten; allein ſicherer verfährt man, die von einem leuchtenden Puncte oder einer leuchtenden Linie ausfahrenden Strahlen durch Brechung oder Reflexion dahin zu bringen, daß ſie ſich unter einem ſehr ſcharfen Winkel ſchneiden. Ein ſehr flaches dreiſeitiges Glasprisma oder zwei nur ſehr wenig gegen einander geneigte Planſpiegel leiſten hierzu gute Dienſte. Ein Prisma wie *M* (Fig. 205 *a*) bringt nämlich die von *s* ausfahrenden Strahlen *sa*, *sb*, *sc* ꝛc. in die Lage, daß ſie ſich in *e*, *f* ꝛc. ſchneiden; die Spiegel *M* und *N* (Fig. 205 *b*) modificiren die von *s* ausfahrenden Strahlen ſo, daß ſie von den zwei hinter den Spiegeln befindlichen Puncten (Bildern) *a* und *b* herzukommen ſcheinen und demnach ſich wieder durchkreuzen, wie die Zeichnung nachweiſet. Leitet man demnach mittelſt eines Helioſtats durch eine runde oder beſſer durch eine ſchmale und hohe Öffnung Sonnenlicht in ein verfinſtertes Zimmer, concentrirt es noch überdieß durch eine Sammellinſe zu einem lichten Puncte oder zu einer Lichtlinie, fängt die divergirenden Strahlen durch obiges Prisma oder die zwei Planſpiegel auf und ſieht auf die Durchſchnittspuncte der Strahlen mittelſt einer Sammellinſe oder einem Fernrohr; ſo ſieht man das Interferenzphänomen, um das es ſich handelt. Es erſcheint nämlich der leuchtende Punct oder die Lichtlinie doppelt und zwiſchen den zwei Bildern ſieht man parallele leuchtende Streifen, die auf der Linie ſenkrecht ſtehen, welche von einem Bilde zum anderen gezogen gedacht wird. Je flacher das Prisma iſt und je mehr ſich die Spiegelflächen einer Ebene nähern, deſto mehr entfalten ſich die Farbenſtreifen. Um dieſelben deutlich und hell genug zu ſehen, müſſen die Flächen des Prisma's oder die Spiegel gerade die rechte Neigung gegen einander haben, die man aber nur durch Erfahrung kennen lernt.

65. Um die Erſcheinungen der Interferenz in ſolcher Einfachheit hervorzubringen, daß ſich daraus Folgerungen ziehen und ihre Geſetze ableiten laſſen, muß man den Verſuch mit gleichartigem Lichte machen, welches man nahe dadurch erhält, wenn man die Streifen durch ein farbiges Glas anſieht. Da findet man die leuchtenden Streifen durch dunkle Zwiſchenräume von einander getrennt. Bei ſolchen Verſuchen kann man die Richtung und Größe des Weges berechnen, welchen die Strahlen zurücklegen, die an dem Orte ſich ſchneiden, wohin die leuchtenden und die dunklen Strei-

ſen fallen. Verrichtet man dieſe Rechnung, ſo findet man folgende wichtige Reſultate: 1) Der leuchtende Streifen, welcher ſich mitten zwiſchen den beiden Bildern befindet, entſteht aus Strahlen, die vom leuchtenden Puncte bis zum Durchſchnittspuncte gerechnet, gleiche Wege gemacht haben, d. i. ſolche, deren Differenz $=0$ iſt. 2) Die erſten zwei leuchtenden Streifen, wovon einer links, der andere rechts gegen den mittleren ſteht, werden durch Strahlen gebildet, deren Differenz der Wege dieſelbe iſt. Sie mag ω heißen. 3) Der zweite Streifen entſteht aus Strahlen, deren Differenz der Wege 2ω iſt. 4) Im Allgemeinen iſt der Unterſchied der Wege der Strahlen, welche farbige Streifen geben 0, ω, 2ω, 3ω, ... $n\omega$. 5) Die zwiſchen den leuchtenden Streifen befindlichen dunklen entſtehen von Strahlen, deren Unterſchied der Wege durch $\frac{1}{2}\omega$, $\frac{3}{2}\omega$, $\frac{5}{2}\omega$.... ausgedrückt wird. Für verſchiedenfarbige Strahlen iſt auch der abſolute Werth von ω verſchieden, und zwar für die rothen am größten, für die violetten am kleinſten. Läßt man im vorigen Verſuche einige der Strahlen, welche auf die Spiegel fallen, durch einen durchſichtigen Körper, z. B. durch Glas gehen, ſo bemerkt man alſogleich, daß die leuchtenden und dunklen Streifen verrückt werden. Die Größe dieſer Verrückung richtet ſich nach dem Verhältniſſe zwiſchen dem Brechungsexponenten für Glas und Luft. Kennt man dieſen, ſo kann man jene Verrückung berechnen. Führt man dieſe Rechnung und vergleicht die Reſultate mit der Erfahrung, ſo findet man eine vollkommene Übereinſtimmung, wie Arago und Fresnel gezeigt haben; ja man kann ſogar mit Sicherheit das Verfahren umkehren und aus der Verrückung der Farbenſtreifen durch einen durchſichtigen Körper auf ſein Brechungsvermögen ſchließen.

Auf den erſten Blick ſollte man glauben, daß bei den häufigen Durchkreuzungen des Lichtes in der Luft und den gewöhnlichen durchſichtigen Mitteln die Interferenzphänomene nicht ſeltener vorkommen werden, als die der Brechung und Reflexion. Bei näherer Überlegung überzeugt man ſich aber leicht, daß dieſe Phänomene nebſt der Durchkreuzung noch andere Bedingungen fordern, die ſelten zuſammen eintreffen; nämlich es müſſen die Strahlen von derſelben Lichtquelle kommen, dieſe darf nicht groß ſeyn, die Wege der Strahlen dürfen nur um wenige Wellenlängen von einander differiren und nicht ſtark gegen einander geneigt ſeyn.

66. Obige Geſetze zeigen den Weg zur Erklärung der Interferenzphänomene im weißen Lichte. Da nämlich die Werthe von ω

für verſchiedenfarbige Strahlen verſchieden ſind, ſo wird ſich bei Interferenzverſuchen ſtets nur eine Strahlengattung aufheben und an dieſer Stelle muß ein Punct von der Farbe erſcheinen, wie ſie das weiße Licht gibt, wenn man jene Strahlen davon wegnimmt.

67. Alle hier angeführten Erſcheinungen folgen ſo ungezwungen aus der Natur der Wellenbewegung, daß man von dieſer geleitet ſie entdeckte. Nach der Vibrationstheorie iſt Interferenz eine Zuſammenſetzung der vibrirenden Bewegungen in eine einzige Welle. Der Erfolg dieſer Zuſammenſetzung iſt beſonders auffallend, wenn zwei Wellen parallel fortſchreiten oder ſich unter einem ſehr kleinen Winkel ſchneiden. Begegnen ſich nämlich zwei einfache Lichtwellen, die von Ätherſchwingungen herrühren, welche in derſelben Ebene nach parallelen Richtungen erfolgen, ſo wird die aus ihrer Zuſammenſetzung hervorgehende Bewegung des Äthers in derſelben Ebene und geradlinig bleiben. Haben die Wellen von der Lichtquelle an gerechnet bis zum Interferenzpuncte gleiche Wege zurückgelegt, ſo treffen ſich Äthertheile, welche ſich nach derſelben Richtung bewegen und ihre reſultirende Bewegung iſt die Summe der einzelnen Bewegungen. Dasſelbe erfolgt, wenn die Differenz der Wege beider Wellen ein Vielfaches einer Wellenlänge iſt; beträgt hingegen dieſe Differenz der Wege ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge, ſo begegnen ſich Äthertheile mit einander entgegengeſetzten Richtungen und ihre reſultirende Bewegung wird gleich 0 oder gleich der Differenz ihrer Bewegungen. Treffen ſich Wellen, deren Ätherbewegungen nicht in derſelben Ebene erfolgen, ſo geht aus ihrer Zuſammenſetzung meiſtens eine krummlinige Bewegung hervor, die entweder elliptiſch oder kreisförmig iſt. Da in Körpern, die ein verſchiedenes Brechungsvermögen haben, gleichfarbige Lichtwellen eine verſchiedene Länge haben, ſo werden zwei Wellen, die ſich im Durchſchnittspuncte vernichteten, ſo lange ſie in demſelben Mittel waren, ſich nicht immer aufheben, wenn eine in dem alten Mittel bleibt, die andere aber durch ein neues gegangen iſt, und es wird das ganze Syſtem der leuchtenden und dunklen Streifen verſchoben erſcheinen müſſen.

Nach der Emanationshypotheſe hat man bis jetzt noch keine Erklärung der Interferenzphänomene geben können. (Über den Interferenzverſuch ſiehe Suppl. S. 453; über die Theorie der Interferenz S. 528 — 533.)

Siebentes Kapitel.

Beugung des Lichtes.

68. Man kennt ſchon ſeit geraumer Zeit Phänomene, welche zeigen, daß Lichtſtrahlen, die an den Kanten eines Körpers vorbeigehen oder durch eine ſehr kleine Öffnung geleitet werden, eine Ablenkung von der geraden Bahn erleiden und dabei in farbige Büſchel zerlegt werden. Man heißt dieſe Modification des Lichtes die Beugung.

Die erſte Erſcheinung dieſer Art bemerkte Grimaldi, als er in ein verfinſtertes Zimmer einen Lichtkegel eindringen ließ, einen feinen Draht darein hielt, ſeinen Schatten in einer gewiſſen Entfernung davon maß und ihn viel breiter fand, als er nach ſeiner Entfernung vom Drahte und der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes hätte ſeyn ſollen. Er bemerkte zugleich, daß der Schatten beiderſeits von Farbenſäumen begrenzt ſey.

69. Die Phänomene der Beugung laſſen ſich auf verſchiedene Arten beobachten. Die einfachſte beſteht darin, daß man einen in ein verfinſtertes Zimmer geleiteten Lichtbüſchel durch eine enge Spalte gehen läßt oder auf einen dünnen Draht leitet und in ziemlich großer Entfernung davon die gebeugten Strahlen auf einer matten Glastafel auffängt. Heller nimmt ſich dieſe Erſcheinung aus, wenn man die gebeugten Strahlen mittelſt einer Sammellinſe ins Auge leitet. Im Allgemeinen kann man ſolche Beobachtungen bequem mit Mayers Inflexioſcop anſtellen, einem Inſtrumente, das im Weſentlichen aus einem Rohre beſteht, in welches das Licht durch eine hohe und ſchmale Spalte eindringt, und entweder durch eine andere, am entgegengeſetzten Ende des Rohres angebrachte, ähnliche, oder durch einen feinen, mit der Höhe der Spalte parallelen Draht gebeugt wird. Im erſten Falle befindet ſich das Auge gleich hinter der das Licht beugenden Öffnung, im zweiten hinter einer Sammellinſe, durch welche man gleichſam den beugenden Draht anſieht. Am reinſten laſſen ſich aber die Beugungserſcheinungen wahrnehmen, wenn man ſich der Methode bedient, durch welche Fraunhofer unſere Kenntniſſe über dieſen Punct ſo ſehr erweiterte und die darin beſteht, daß man durch eine ſchmale, aber hohe Öffnung mittelſt eines Helioſtats einen Lichtbüſchel in ein verfin-

ſtertes Zimmer leitet, in den Weg dieſer Strahlen ein achromatiſches Fernrohr ſo ſtellt, daß man durch ſelbes die Öffnung deutlich ſieht, und hierauf vor das Objectivglas des Fernrohres einen Schirm mit einer ebenfalls ſehr ſchmalen, hohen Öffnung oder einen ſehr dünnen Draht anbringt. Sowohl jene als dieſer müſſen mit der Öffnung am Fenſter parallel ſeyn.

70. Bedient man ſich der letzteren Methode als der vorzüglichſten und läßt die Strahlen durch die Öffnung eines Schirmes gehen; ſo ſieht man in der Mitte des Geſichtsfeldes des Fernrohres einen weißen Streifen (Fig. 206 *a*), der gegen beide Enden zu gelb und endlich roth iſt, zu beiden Seiten desſelben ſymmetriſch ein lebhaftes Farbenbild *c*, welches unmerklich in ein zweites minder intenſives *d*, dann in ein drittes wieder ſchwächeres übergeht u. ſ. f. Zunächſt an der Öffnung iſt die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im erſten Farbenbilde alle 6 Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau ꝛc. Ein am Ocularglaſe des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, deſſen Axe horizontal ſtehen muß, wenn die Öffnung des Schirmes vertical iſt, zeigt, daß die der Axe nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Lichte beſtehen, daß es aber die weiter von der Axe entfernten allmälig werden. Je kleiner die Öffnung am Schirme iſt, deſto mehr rücken die Farbenbilder aus der Mitte des Geſichtsfeldes und deſto breiter werden ſie ſo, daß die Ablenkungswinkel des Lichtes ſtets der Breite der Öffnung verkehrt proportionirt ſind. Die Abſtände beſtimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen, wachſen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Die Breite der Öffnung am Fenſter hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, ſie beſtimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüſchel bei einer verticalen Spalte gleichſam aus verticalen Lichtlinien beſteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Öffnung verurſacht das Aufeinanderfallen mehrerer ſolcher Bilder eine Undeutlichkeit. Daher kommt es auch, daß bei einer gewiſſen Größe der Spalte alle Farben verſchwinden. — Fällt das Licht durch eine runde Öffnung auf einen Schirm, der eine quadratförmige genau geradlinige Öffnung mit ſcharfen Ecken hat; ſo wird es ſowohl in horizontaler als verticaler Richtung gebeugt un man ſieht im Fern=

rohre ein farbiges Kreuz. Hat aber der Schirm eine kleine runde Öffnung, ſo erſcheinen farbige Ringe. Iſt die Öffnung des Schirmes ringförmig, ſo erſcheinen ebenfalls Ringe, aber ihr Durchmeſſer und ihr Verhältniß zu einander iſt verſchieden von dem im vorhergehenden Falle, übrigens aber nur von der Breite der Öffnung, nicht vom Durchmeſſer der Spalte abhängig.

71. Iſt das gebeugte Licht gleichartig, ſo erſcheinen ſtatt der Farbenbilder, die ſich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelaſſenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt ſind. Jedoch iſt die Intenſität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, ſondern es gibt in jedem Farbenſtreifen eine am ſtärkſten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtſtärke allmählig abnimmt, bis ſie ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr ſich dieſe Streifen von der Mitte entfernen, deſto ſchwächer werden ſie, bis ſie endlich ganz undeutlich und unſichtbar werden. Die Farbenſtreifen ſind im violetten Lichte ſchmäler als im blauen, in dieſem ſchmäler als im grünen und ſo fort bis zum rothen. Entfernt man die Tafel, worauf man dieſe Farbenſtreifen auffängt, oder das Fernrohr mehr von der Spalte; ſo rücken dieſe Streifen auch mehr aus einander. Vergleicht man zwei oder mehrere Puncte der Tafel, welche in verſchiedenen Entfernungen von einerlei Lichtſtreifen getroffen werden; ſo findet man, daß der gebeugte Strahl nicht geradlinig von der Spalte ausgehe, ſondern eine hyperboliſche Krümmung habe. Man kann ſich hierbei überzeugen, daß die Natur des Körpers, in welchem ſich die Öffnung befindet, ſo wie die Geſtalt desſelben auf die Beſchaffenheit und relative Folge der Farbenſtreifen gar keinen Einfluß habe. Die Schneide und der Rücken eines Barbiermeſſers, ein geſchwärzter und ein polirter Draht und Körper vom verſchiedenſten Brechungsvermögen gewähren dieſelben Phänomene der Beugung. Übrigens werden nicht blos die nächſten am Rande der Spalte vorbeigehenden Strahlen gebeugt, ſondern auch die merklich davon entfernten.

72. Die Erſcheinungen, welche ſich bei der Beugung des Lichtes durch einen dünnen Draht darbieten, ſind den vorher erwähnten ähnlich. Man ſieht nämlich da zu beiden Seiten des beugenden Körpers oder ſeines Schattens ähnliche Farbenſtreifen. Iſt der Körper ſehr dünn, ſo bemerkt man außer dieſen auch noch andere in-

nerhalb der Grenzen dieſes Körpers oder ſeines Schattens; ſie haben aber das Eigenthümliche, daß ſie beiderſeits verſchwinden, wenn man auch nur die an einem Rande des Körpers vorbeigehenden Strahlen durch einen undurchſichtigen Schirm abhält. Dieſe Farbenbilder ſind es eigentlich, derentwegen man manchmal die Beugungsverſuche an feinen Drähten vornimmt, weil man ſie bei Verſuchen, wo die Beugung in einer engen Spalte vor ſich geht, nicht ſieht, indem ſie in den von nicht gebeugtem und daher ſtärkerem Lichte beleuchteten Raum fallen. Dafür ſieht man aus demſelben Grunde beim Gebrauche ſolcher Drähte wieder die äußeren Spectra nicht gut genug.

73. Andere Erſcheinungen als die in 70 aufgezählten kommen zum Vorſchein, wenn man weißes Licht durch eine Anzahl ſchmaler Öffnungen gehen läßt, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich ſind, und dadurch mehrere gleich ſtark gebeugte Strahlen ins Fernrohr leitet. Solche ſchmale Öffnungen erhält man am beſten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge ſehr feiner Schrauben ſpannt, oder wenn man in ein mit Goldplättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas ſolche Linien zieht. Fraunhofer bediente ſich bei den ſubtilſten Verſuchen dieſer Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601 Linien, wo die Entfernung der Mitte je zweier Linien nur 0.0001223 P. Zoll betrug. Wird ein Gitter mit ſehr vielen ſchmalen Öffnungen vor das Objectiv des Fernrohrs geſtellt und durch eine ſchmale Öffnung Licht darauf geleitet; ſo ſieht man die Öffnung am Helioſtat wie ohne Gitter (Fig. 206 *b*) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen ſymmetriſch, eine große Anzahl Farbenbilder wie die, welche ein gutes Prisma hervorbringt; ſie werden breiter, aber auch matter, ſo wie ſie ſich von der Mitte entfernen. Die erſten ſind durch dunkle Zwiſchenräume von einander getrennt, dieſe werden aber bei den folgenden immer ſchmäler, bis ſie ganz verſchwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, ſich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in dieſen Farbenbildern die dunkeln Linien, zum Beweiſe, daß die Spectra aus homogenem Lichte beſtehen. Zugleich finden folgende Geſetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verſchiedenen Gittern aus ſehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwiſchenräumen verhalten ſich die Sinuſſe der

Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinuſſe der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verſchiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Fällt das Licht durch zwei gleiche Gitter zugleich auf das Objectiv des Fernrohres, ſo erfolgen die Erſcheinungen wie bei einem; ſind die Gitter aber ungleich, dann iſt es gerade ſo, als wenn nur das feinere allein da wäre.

74. Wenn nur wenige gebeugte Strahlen zugleich ins Fernrohr treten, welches geſchieht, wenn das Gitter eine geringe Anzahl Fäden enthält; ſo bemerkt man, nebſt den vollkommenen (in 73 erwähnten) Farbenbildern, noch eine dritte Gattung von Farbenbildern, die jenen ähnlich ſind, aber nicht homogenes Licht enthalten. Aus genauen Meſſungen folgt: 1) Bei einem und demſelben Gitter, aber einer verſchiedenen Anzahl Fäden verhalten ſich die Abſtände derſelben unvollkommenen Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verſchiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwiſchenräume wachſen die Abſtände derſelben Farbenbilder von der Axe, wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 3) Die Abſtände der einzelnen Farbenbilder von der Axe wachſen, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt.

75. Befindet ſich das Gitter in verſchiedenen brechenden Flüſſigkeiten, ſo verhalten ſich die Sinuſſe der Ablenkungswinkel gleichfarbiger Strahlen desſelben Spectrums umgekehrt wie die Brechungsexponenten dieſer Flüſſigkeiten.

76. Sehr überraſchende Erſcheinungen, die an Farbenpracht und Symmetrie alle optiſchen Erſcheinungen weit hinter ſich laſſen, zeigen ſich, wenn Strahlen durch mehrere runde und eckige Öffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen und Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt ſind, auf einander einwirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Öffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, ſo erblickt man darin die Erſcheinung, welche Fig. 207 *a* vorſtellt, wo die weißen Räume Farbenbilder ſind. Bei drei ſolchen Öffnungen, deren Mittelpuncte ein gleichſeitiges Dreieck geben, ſieht man das Phänomen, welches Fig. 207 *b* andeutet. Unbeſchreiblich prächtig iſt die Erſcheinung, die man erhält, wenn das Licht durch viele viereckige, gleich

weit von einander abſtehende Öffnungen ins Fernrohr tritt, ſie läßt ſich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

77. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es ſo, daß das von demſelben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; ſo gewahrt man alle Erſcheinungen, die im directen Lichte bei demſelben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abſtände von der Axe ſind deſto größer, je ſchiefer das Licht einfällt.

Aus den angeführten Beugungsgeſetzen erklären ſich mehrere Erſcheinungen. Z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug, oder durch ein mit Hexenmehl beſtreutes Glas auf einen nicht zu nahen, ſtark beleuchteten Punct ſieht; das Farbenſpiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch ſie nach der Sonne blickt; die Lichtſtreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planſpiegel; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinſterniſſen; die dunklen Streifen, welche man zwiſchen den eng an einander geſchloſſenen geſtreckten Fingern ſieht ꝛc. Faſt noch fruchtbarer ſind die Beugungsgeſetze reflectirter Strahlen. Man erklärt daraus das lebhafte Farbenſpiel des Barton'ſchen Irisſchmuckes, ja ſelbſt das bekannte Farbenſpiel der Perlmutter; denn Brewſter überzeugte ſich, daß die Oberfläche derſelben ſehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man dieſe iriſirende Eigenſchaft anderen weichen Subſtanzen, z. B. Siegellack, arabiſchem Gummi, Stannifolio, ſelbſt Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieſelbe Lichterſcheinung auch an der Oberfläche eines ſtark eingekochten Gallerts aus Kalbsfüßen. Zu dieſen Erſcheinungen gehört auch das Farbenſpiel der Flügeldecken einiger Inſecten, das Schillern abgeſtandener Gläſer, vieler Färbeſtoffe, z. B. des trockenen Waides ꝛc.

78. So lange das Licht auf ein durchſichtiges oder undurchſichtiges Gitter ſenkrecht einfällt, erſcheinen die durch Beugung entſtandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen ſymmetriſch angeordnet, bei ſchief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf und die einzelnen Spectra erſcheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen ſpitzigen Winkel macht, größer als an der anderen; dieſe Ungleichheit wächſt mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Außer dieſem hängt auch noch eine beſondere Modification der Lichtſtärke einzelner Stellen in den Farbenbildern vom Einfallswinkel ab. Brewſter hat nämlich gefunden, daß

die Farbenbilder bei ſchief einfallendem Lichte an beſtimmten Stellen ein Minimum ihrer Intenſität erreichen. Die Lage dieſer Stellen hängt von der Beſchaffenheit des Gitters und vom Einfallswinkel ab, und kann, wenn ſich dieſer Winkel ſucceſſive ändert, wieder in dieſelbe Farbe desſelben Spectrums, aber auf eine andere Stelle desſelben fallen. Bei einer Vergrößerung dieſes Winkels tritt ein ſolches Minimum zuerſt am Roth des innerſten Spectrums ein und rückt durch alle Farben bis zum Violett vor. Während dieſes aber mit dem innerſten Spectrum Statt findet, tritt es auch ſchon an den darauf folgenden Farbenbildern ein. Brewſter hat dieſen Gegenſtand vorzüglich im reflectirten Lichte unterſucht. (Zeitſch. 8. 202.)

79. Die Beugungsphänomene hat in der neueſten Zeit Herſchel mit ganz neuen bereichert, die auch in Betreff ihrer Geſetze von den vorhergehenden abweichen, aber doch mit den Fraunhofer'ſchen verwandt ſind. Bringt man vor dem Objective eines guten, ſtark vergrößernden Fernrohres eine Blendung an und ſieht durch das Inſtrument auf einen hellen Stern, ſo ſieht man ihn unter günſtigen Umſtänden als helle Scheibe mit concentriſchen, farbigen Kreiſen. Die Scheibe erſcheint deſto größer und die Ringe deſto ſchwächer, je kleiner die Öffnung der Blendung iſt. Hat dieſe eine ringförmige Öffnung, ſo erſcheinen mehrere Ringſyſteme um den Stern, die Größe der Scheibe und die Breite der Ringe nimmt zu, wenn die Breite der Öffnung größer wird, aber die Anzahl der Ringe wird dadurch vermindert. Hat die Blendung mehrere ringförmige Öffnungen, ſo ſieht man die einzelnen Ringſyſteme um ſo beſſer. Bei einer Öffnung von der Geſtalt eines gleichſeitigen Dreieckes ſieht man den Stern ſechsſtrahlig, mit einer hellen runden Scheibe; durch drei runde Öffnungen, deren Mittelpuncte in den Winkeln eines gleichſeitigen Dreieckes liegen, erſcheint das Bild aus einer runden Scheibe beſtehend, die von ſechs anderen ſymmetriſch berührt wird, und aus einem Syſteme ſchwacher, das Ganze umgebender Ringe. (Zeitſch. 7. 459.)

80. Die Phänomene der Beugung des Lichtes ſind eine unmittelbare Folge der Fortpflanzung einer unterbrochenen Welle, und laſſen ſich bis ins kleinſte Detail aus der Vibrationshypotheſe der Qualität und Quantität nach erklären. Es ſey *S* (Fig. 208) ein leuchtender Punct, *ab* die von ihm ausgehende, bereits zur Öffnung des Schirmes *MN* gelangte Lichtwelle. Dieſe Welle er-

weitert ſich dadurch, daß von jedem ihrer Puncte einzelne Wellen (Elementarwellen) ausgehen und ſich zu einer neuen Welle zuſammenſetzen, gerade ſo wie aus den Durchſchnittspuncten von Kreiſen, deren Mittelpuncte in einem Kreisumfange ſtetig herumliegen, wieder ein Kreis hervorgeht. Es iſt demnach auch die erweiterte Welle *cd*, eine aus den einzelnen, von jedem Puncte des Wellenſtückes *ab* ausgehenden Elementarwellen reſultirende. Jene Elementarwellen erſtrecken ſich wohl auch über *cd* hinaus, z. B. nach *e*, allein die an einem ſolchen Puncte zuſammentreffenden Wellen befinden ſich großen Theils in völliger Oppoſition und heben ſich daher ſo weit auf, als wenn nur zwei halb ſo intenſive vorhanden wären, deren eine von *a*, die andere von *b* ausgeht. Man kann daher die Beugung ſo betrachten, als beſtünde ſie in der Bildung zweier, von *a* und *b* ausgehender neuer Wellen und von der Interferenz derſelben hängen alle weiteren Phänomene ab. Die Beugung an einem dünnen Drahte läuft auf dasſelbe hinaus.

Aus den Beugungsphänomenen läßt ſich die Länge der Lichtwellen in der Luft ſehr ſcharf beſtimmen. So fand Fraunhofer

für den	rothen Strahl	die Wellenlänge	0,00002422	P. Z.
„ „	orangefarbnen	„ „	0,00002175	
„ „	grünen	„ „	0,00001945	
„ „	blauen	„ „	0,00001794	
„ „	indigoblauen	„ „	0,00001587	
„ „	violetten	„ „	0,00001464	

81. Nach der Emanationshypotheſe laſſen ſich die Erſcheinungen der Beugung nicht nur nicht erklären, ſondern ſie ſind ihr ganz zuwider. Denn die Beugungsphänomene ſind einzig und allein von der mathematiſchen Begrenzung der Öffnung im Schirme oder des beugenden Drahtes, nicht aber von der materiellen Beſchaffenheit desſelben oder des um die Öffnung befindlichen Körpers abhängig; aber nach dem Geiſte dieſer Anſicht müßten die Phänomene der Beugung von einer Kraft abgeleitet werden, welche der Schirm oder die Ränder der Öffnung auf das Licht ausüben. Man geräth in Widerſpruch mit der Erfahrung, man mag dieſe Kraft auf eine merkliche oder auf eine unmerkliche Entfernung wirken laſſen. Erſtreckt ſich ihre Wirkung auf eine angebbare Entfernung, ſo ſollte ſie von der Geſtalt des Schirmes und der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche abhängen, welches nicht der Fall iſt; reicht aber ihre Wirkung nur unangebbar weit, ſo können nur die der Öff-

nung oder dem beugenden Drahte nächſten Strahlen, nicht aber die davon entfernteren gebeugt werden. Auch der Umſtand widerſpricht dem Geiſte der Emanationshypotheſe, daß ein gebeugter Strahl in demſelben Mittel die geradlinige Bahn verläßt und der Krümmung einer Hyperbel folgt. (Haldat in Zeitſch. 7. 85.) Über die Beugung ſiehe: *Grimaldi physico-Mathesis de lumine, coloribus etc. Bonon.* 1665. 4. Neue Modificationen des Lichtes durch gegenſeitige Einwirkung und Beugung der Strahlen ꝛc., von Fraunhofer. München (1822). *Mémoire sur la diffraction de la lumière* in den *Mém. de l'Acad. de Paris. Tom. V.* Gilb. Ann. 3. 235; 19. 362; 22. 344; 74. 337. Suppl. S. 470 u. 539.

Achtes Kapitel.

Farben dünner Körper.

82. Es gibt gewiſſe Farbenerſcheinungen, die von der Dicke der Körper abhängen und daher an jedem hervorgebracht werden können, der in hinreichend dünnen Plättchen exiſtirt. Dünne Fiſchſchuppen, die Wände ſehr fein ausgeblaſener Glaskugeln oder Seifenblaſen zeigen bekanntlich dieſes ſchöne Farbenſpiel; eben ſo erſcheinen Waſſer und Weingeiſt, die einen dunklen Körper in einer ſehr dünnen Schichte decken, ja ſelbſt Luftblaſen treten mit ſolchen Farbenphänomenen hervor. Das Farbenſpiel mancher blätteriger Kryſtalle oder anderer Körper, die feine Sprünge haben, rührt von den dünnen, in den Sprüngen enthaltenen Luftſchichten her. Dieſe Farben erſcheinen ſowohl im durchgelaſſenen als im reflectirten Lichte und ändern ſich mit der Natur und Dicke der Plättchen und mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Um ihre Geſetze erforſchen zu können, muß man vor allem verſuchen, ſie an Plättchen von einerlei Natur und verſchiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich eine ebene Glasplatte *A* (Fig. 209), auf die man ein wohl centrirtes Converglas *B* von großem Halbmeſſer legt. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle und ſteht rings um dieſe Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann dieſen Abſtand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwiſchen den zwei Gläſern irgend eine Flüſſigkeit, z. B. atmoſphäri-

ſche Luft, Waſſer, Weingeiſt, ſo füllt ſie denſelben aus und bildet daher gleichſam concentriſche, an Dicke nach Außen wachſende ringförmige Plättchen, ja ſelbſt, wenn man daraus alles Materielle, ſo gut man kann, entfernt, ſo erhält man ein ſolches wiewohl nicht von Materie erfülltes Plättchen. Darum hat auch Newton, der dieſe Phänomene einer beſonderen Aufmerkſamkeit gewürdiget, einen ſolchen Apparat gewählt und er heißt darum auch Newtons Farbenglas. Dieſes bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben auf dieſe Vorrichtung herab, ſo erblickt man in der Mitte einen ſchwarzen Kreis, dieſen umgeben mehrere concentriſche Farbenringe, auf ſie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder farbige und ſo abwechſelnd fort; die Farben werden immer ſchwächer, je größer die Ringe ſind, und verlieren ſich endlich ganz. Die Ordnung der Farben iſt von der Mitte aus folgende: 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, ſcharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulich roth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, ſchwach röthlichweiß. Ähnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelaſſenen Lichte, ſie ſind aber minder hell und an Farbe verſchieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte ſich zeigt, entſpricht im durchgelaſſenen ein anderer, deſſen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beſtändig in derſelben Ordnung auf einander, ſie erſcheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja ſelbſt, wenn ſtatt Luft eine andere Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, Weingeiſt, zwiſchen den Gläſern enthalten iſt; der einzige Unterſchied beſteht in der verſchiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmeſſer der Ringe. In der Regel iſt die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in der von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Waſſer zwiſchen den Gläſern ſteht. Die Größe eines Ringes von beſtimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn ſchief anſieht, die Gläſer ſcharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwiſchen den Gläſern enthaltenen Flüſſigkeit vermindert.

83. Newton maß die Durchmeſſer dieſer Ringe mit einer muſterhaften Genauigkeit bei verſchiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verſchiedenen Flüſſigkeiten und überzeugte ſich, daß unter übrigens gleichen Umſtänden der Durchmeſſer eines Ringes in

demſelben Verhältniſſe kleiner werde, in dem das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit zunimmt; eine Wahrheit, die deßhalb ſehr wichtig iſt, weil ſie lehrt, wie man die bei einer Flüſſigkeit erhaltenen Reſultate auf alle anderen ausdehnen kann.

84. Ungeachtet aller dieſer Bemühungen war das Phänomen der Farbenringe noch immer wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des einfallenden Lichtes zu verwickelt, als daß man es in ſeine Elemente hätte zerlegen können. Deßhalb ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen. Da zeigten ſich folgende Erſcheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von ſeiner eigenen Farbe, ſowohl durch Reflexion als durch Transmiſſion. 2) Jeder Ring iſt ſowohl im reflectirten als durchgelaſſenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt; man kann deßhalb jeden einzelnen beſſer als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwiſchenraum wird deſto ſchmäler, je mehr ſich die Ringe vom Mittelpuncte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwiſchenraume im reflectirten Lichte entſpricht im durchgelaſſenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwiſchenraum iſt, da befindet ſich im erſteren ein Farbenring; jedoch ſind dieſe dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelaſſenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet iſt, ſondern die Lichtſtärke verliert ſich von einem Kreiſe in der Mitte des Ringes aus allmählig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmeſſer der reflectirten Farbenringe vom hellſten Puncte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ꝛc. 6) Die Quadrate der Halbmeſſer der dunklen Zwiſchenräume wachſen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 ꝛc. 7) Bei den durchgelaſſenen Farbenringen entſpricht der hellſte Kreis dem dunkelſten im reflectirten Lichte; es findet daher hier dasſelbe Verhältniß bei den dunklen Zwiſchenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmeſſer eines Ringes von derſelben Ordnung wird deſto kleiner, je brechbarer das Licht iſt, das ihn bildet. So iſt z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen. Dieſes erſtreckt ſich ſogar auf die Unterſchiede der Brechbarkeit im Lichte von derſelben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußerſten Roth des prismatiſchen Farbenbildes erſcheint größer, als einer von derſelben Ordnung, der vom mittleren Roth entſtand. 9) Auch

die Breite eines Ringes derſelben Ordnung iſt deſto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes iſt. 10) Die Ringe ſind in jedem Strahle am kleinſten, wenn das Licht ſenkrecht durch die Luftſchichte geht, und werden deſto größer, je ſchiefer der Strahl einfällt.

85. Die vorher genannten Geſetze enthalten nun den Schlüſſel zur Erklärung der Farbenringe im vollen Lichte. Da entſtehen nämlich von jedem Strahle ſo viele Ringſyſteme, als er Theile von verſchiedener Brechbarkeit enthält; allein viele dieſer Ringe fallen zum Theile auf einander und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie ſie in 82 aufgezählt ſind. Daß dieſe Anſicht die wahre ſey, kann man ſchon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß unterſucht, welche Ringe auf irgend einem Theile des Glaſes entſtehen und welche Farbe ſie zuſammen hervorbringen müſſen, dieſe Farbe genau diejenige iſt, welche der Verſuch nachweiſet.

Um die Erſcheinungen der Farbenringe ſo einzurichten, daß ſie von mehreren Perſonen zugleich betrachtet werden können, wie dieſes bei Vorleſungen nöthig iſt, bediene ich mich zweier, ſehr kleiner Convexlinſen, deren Krümmungen wenig von einander verſchieden ſind, gebe ſie in eine Faſſung, wo ſie feſt gehalten und zugleich nach Belieben mittelſt Schrauben an einander gedrückt werden können, ſetze ſie wie ein Object, in das Sonnen- oder Lampenmicroſcop ein und fange das Bild auf einer weißen Tafel auf. So erhalten die kleinſten Ringe wenigſtens einen Durchmeſſer von 8 Zoll und ſind zugleich ſehr deutlich ſichtbar, beſonders wenn man das Licht hinreichend mäßiget. Man kann ſie auch mit einem gewöhnlichen Microſcope anſehen.

86. Newton nahm zur Erklärung dieſer Erſcheinungen, dem Sinne der Emanationshypotheſe gemäß an, das Licht erlange beim Eintritt in ein Mittel eine Diſpoſition, vermöge welcher es den abſtoßenden Kräften leichter gehorcht als den anziehenden, oder umgekehrt. Dieſe Diſpoſition, welche er Anwandlung zur leichteren Reflexion oder Transmiſſion nennt, wächſt mit der Tiefe, in welche ein Lichttheilchen eingedrungen iſt bis zu einer beſtimmten Größe, nach welcher ſie beim weiteren Eindringen in das Mittel wieder abnimmt, Null wird und in die entgegengeſetzte Diſpoſition übergeht. Dieſe wird ſelbſt wieder immer größer, erlangt ihr Maximum, nimmt wieder ab und geht abermahls in die erſtere über. Nicht alle einen Strahl bildenden Lichttheilchen

befinden ſich zugleich in derſelben Diſpoſition. Daher ſoll es nun geſchehen, daß ein Lichttheilchen, welches, nachdem es in einem Mittel in die Tiefe $= c$ eingedrungen iſt, reflectirt wird, eben ſo in der Tiefe $3c$, $5c$, $7c$ leichter reflectirt, in der Tiefe $2c$, $4c$, $6c$ hingegen leichter durchgelaſſen werde. Der Werth von c ändert ſich mit der Natur des Mittels und der Brechbarkeit des Lichtes und iſt deſto größer, je kleiner der Brechungsexponent für die an einander grenzenden Mittel und je weniger brechbar das Licht iſt. Auf dieſe Hypotheſe ſcheinen die angeführten Phänomene ſelbſt hinzuweiſen, indem an den dunklen oder farbigen Stellen nur in der Dicke der zwiſchen den Gläſern enthaltenen Schichte ein Unterſchied zu finden iſt, und ſich auch die Quadrate der Halbmeſſer der Ringe, die wie die oben (84) angeführten Zahlen wachſen, wie die Dicken dieſer Schichten verhalten. So einfach und genügend dieſe Hypotheſe auf den erſten Blick zu ſeyn ſcheint, ſo iſt ſie doch nichts als eine Umſchreibung der Phänomene ſelbſt und keine Erklärung.

87. Young hat die Farbenerſcheinungen an dünnen Körpern aus der Interferenz zu erklären geſucht. In der That kann einem die innige Verbindung zwiſchen den Phänomenen der Interferenz und jenen der Farbenringe nicht entgehen, wenn man bedenkt, daß der Werth von c, wie ihn Newton für verſchiedenfarbiges Licht fand, genau ein Viertel von ω bei der Interferenz desſelben Lichtes, mithin ein Viertel der Länge einer Lichtwelle bedeutet. Es ſey MN (Fig. 210) ein dünnes Plättchen und SA ein von einer weit entfernten Lichtquelle kommender Strahl, der in A zum Theile nach AX reflectirt wird, zum Theile aber in der Richtung AD ins Plättchen eindringt. Ein anderer mit SA paralleler Strahl SB erleidet eben ſo in B eine partielle Reflexion und eine Brechung nach BC, in C wieder eine Reflexion nach A und daſelbſt eine partielle Brechung nach AX. Demnach fallen in der Richtung AX zwei Strahlen zuſammen, wovon einer den Weg $SA + AX$, der andere den Weg $SB + BC + CA + AX$ zurückgelegt hat, und es wird das Reſultat ihrer Interferenz der Differenz ihrer Wege, mit Rückſicht auf die Geſchwindigkeit des Lichtes im Plättchen, gemäß ſeyn und davon werden nun die Farben im reflectirten Lichte abhängen. Die Farben im durchgelaſſenen Lichte entſtehen auf ähnliche Weiſe: Der Theil CA des Strahles SB erleidet in A eine partielle Reflexion und ſendet demnach einen Theil nach AD, der beim Austritte den Weg DE einſchlägt; eben dieſen Weg nimmt auch jener Theil

des Strahles *SA*, welcher in *A* in das Plättchen eingedrungen und in *D* wieder ausgetreten iſt. Es fallen daher wieder zwei Strahlen in *DE* zuſammen, aus deren Interferenz die durchgelaſſenen Farben entſpringen. Um dieſe Erklärung näher zu prüfen, betrachte man den ſenkrecht einfallenden, homogenen Strahl *sA*. Von dieſem wird ein Theil in *A* nach *As*, ein anderer in *F* nach *Fs* reflectirt und es treten zwei Theile in der Richtung *As* aus, deren Wegdifferenz $2AF = 2c$ iſt. Damit nun *A* dunkel erſcheine, ſoll $2c = \frac{1}{2}\omega, \frac{3}{2}\omega, \frac{5}{2}\omega$ ꝛc., d. h. $c = \frac{1}{4}\omega, \frac{3}{4}\omega, \frac{5}{4}\omega$ ſeyn; damit es licht erſcheine, muß $2c = \omega, 2\omega, 3\omega$ ꝛc., d. h. $c = \frac{2}{4}\omega, \frac{4}{4}\omega$ ꝛc. ſeyn. Demnach müßten an Newton's Farbenglaſe die Dicken der Plättchen an den farbigen Stellen im reflectirten Lichte wie die geraden, an den dunklen wie die ungeraden Zahlen wachſen, welches aber der Erfahrung widerſpricht, ja gerade das Gegentheil von dem iſt, was Beobachtungen gelehrt haben (84, 5 und 6). Dieſen Widerſpruch hat aber Young aufgehoben, indem er zeigte, daß ſich zwei Lichtwellen, deren eine von einem dichteren Mittel in ein dünneres, die andere von einem dünneren in ein dichteres reflectirt wird, ſelbſt bei gleichen Wegen um eine halbe Wellenlänge unterſcheiden, indem bei einer der verdichtete, bei der anderen der verdünnte Theil vorausgeht. Poiſſon hat dieſe Schwierigkeit nebſt der aus der ſcheinbar ungleichen Intenſität der ſich interferirenden Strahlen hervorgehenden auf eine ſehr ſcharfſinnige Weiſe durch Calcul gehoben. Auf ähnliche Weiſe verhält es ſich mit den durchgelaſſenen Farben. (*Ann. de Ch.* 22. 337.) Über Newton's Arbeit ſiehe deſſen Optik, oder auch: *Traité de physique expériment. et mathém. par Biot. Paris,* 1806. *tom. IV.* Young's Erklärung enthält deſſen *Course of lectures on natural philosophy etc. Lond.* 1806. *vol. I. lect.* 37. Ausführlich handelt darüber der Supplementband S. 457—533.)

Neuntes Kapitel.

Beſtimmung der Lichtſtärke. (Photometrie.)

88. Ein leuchtender Punct ſendet ringsum Strahlen von gleicher Intenſität aus. Denkt man ſich einen ſolchen Punct als Cen-

trum einer Kugelfläche, ſo fällt jeder ausgehende Strahl ſenkrecht auf dieſe Fläche auf und erleuchtet ſie, und gleiche Flächen werden offenbar von gleichen Lichtmengen getroffen, mithin gleich erleuchtet. Die Lichtmenge, welche daher zwei ungleich große Stücke einer ſolchen Fläche treffen, verhalten ſich offenbar direct wie die Leuchtkraft (der Glanz) des leuchtenden Punctes und die Größe der betreffenden Flächen. Denkt man ſich den Halbmeſſer der Kugelfläche größer, ſo entſteht eine neue Kugelfläche, die im Verhältniſſe des Quadrates des Halbmeſſers größer iſt, ohne doch mehr Licht zu erhalten, als die erſtere. Daher ſteht die Lichtmenge, welche ein leuchtender Punct auf Stücke von Kugelflächen ſendet, bei demſelben Glanze der Lichtquelle im verkehrten Verhältniſſe mit dem Quadrate der Entfernung dieſer Fläche von der Lichtquelle. Iſt die erleuchtete Fläche nicht eine Kugelfläche, in deren Mittelpunct ſich der leuchtende Punct befindet, ſo kann man die Strahlen nur auf ein ſehr kleines Stück (ein Element) derſelben für ſenkrecht annehmen und die Beleuchtung nach obiger Regel berechnen, die anderen werden von den Lichtſtrahlen ſchief getroffen und nach einem anderen Geſetze erleuchtet. Man nimmt allgemein an, daß die Erleuchtung bei übrigens gleichen Umſtänden ſo abnimmt, wie der Sinus des Einfallswinkels wächſt. Hat man es endlich nicht mit einem leuchtenden Puncte, ſondern mit einem leuchtenden Körper oder mit einer Licht ausſendenden Fläche zu thun, ſo richtet ſich die einer Fläche dadurch zu Theil gewordene Erleuchtung auch noch nach der Menge der leuchtenden Puncte, mithin nach der Größe des leuchtenden Körpers oder der leuchtenden Fläche und muß für jeden Punct eigens berechnet werden; denn es haben nicht alle Strahlen einerlei Intenſität, ſondern die ſchief ausfahrenden ſind in dem Verhältniſſe weniger intenſiv, als der Sinus des Ausſtrahlungswinkels größer iſt. Demnach ſteht die Erleuchtung einer Fläche im geraden Verhältniſſe mit dem Glanze und der Größe der leuchtenden Fläche (oder des jener Fläche zugekehrten Theiles des leuchtenden Körpers, wenn derſelbe undurchſichtig, oder des Körpers ſelbſt, wenn er durchſichtig iſt), im verkehrten mit dem Sinus des Ausſtrahlungs- und Einfallswinkels und mit dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der genannten Fläche.

89. Alles dieſes läßt ſich leicht ſowohl aus der Emanations- als aus der Vibrationshypotheſe ableiten. Nach jener fahren die Lichtſtrahlen im Verhältniß ihrer Entfernung von der Lichtquelle

immer mehr aus einander, nach dieſer vertheilt ſich die bewegende Kraft des Äthers bei wachſender Entfernung in immer größere Maſſen, und daher rührt das Geſetz der Abnahme der Erleuchtung bei wachſender Entfernung. Nach jener Hypotheſe leuchtet jener Punct mehr, der mehr Lichttheilchen ausſendet und wo daher die Strahlen bei einerlei Entfernung von dieſem Puncte dichter an einander liegen; nach dieſer Hypotheſe leuchtet ein (phyſiſcher) Punct mehr oder weniger, nach Maßgabe der Menge ſeiner ſchwingenden Theile und ihrer Excurſionsweite. Daß ein Strahl deſto weniger erleuchtend wirke, je ſchiefer er den leuchtenden Körper verläßt, iſt nach beiden Anſichten darin begründet, daß er nicht von der Oberfläche des leuchtenden Elementes, ſondern aus deſſen Innerem kommt und einen deſto größeren Weg in demſelben zurücklegen muß, je ſchiefer er ausfährt, mithin in demſelben Verhältniſſe geſchwächt wird.

90. Es iſt bekannt, daß ein Lichtſtrahl an der Grenze zweier Mittel in zwei Theile getheilt wird, wovon ein Theil ins alte Mittel zurückkehrt, der andere aber ins neue eindringt, und daß ſich der erſte Theil meiſtens wieder auf zweifache Weiſe verhalte, indem er zum Theil regelmäßig reflectirt, zum Theil nach allen Seiten zerſtreut wird. Läßt man z. B. einen cylindriſchen Lichtbüſchel *AB* (Fig. 211) in einem verfinſterten Raume auf eine Glastafel *MN* einfallen, ſo ſieht man einen Theil davon im Inneren des Glaſes nach *BC* fortfahren und dasſelbe in der Richtung *CX* verlaſſen, einen anderen *BD* aber nach den bekannten Reflexionsgeſetzen in die Luft zurückkehren; endlich ſieht man die Stelle *B*, wo der Lichtbüſchel auffällt, man mag von wo immer her auf das Glas hinſehen, zum Beweiſe, daß von da aus Licht nach allen Seiten ausgehe, mithin zerſtreut werde. Die Intenſität des von einem Körper regelmäßig und zerſtreut reflectirten Lichtantheils hängt bei gleicher Stärke des einfallenden Lichtes ab vom Verhältniſſe des Brechungsvermögens der zwei an einander grenzenden Mittel und vom Einfalls- und Brechungswinkel des Lichtes. Je größer der Unterſchied im Brechungsvermögen der zwei an einander grenzenden Mittel iſt, deſto mehr Licht wird gleich an der erſten Grenze reflectirt. So wird von einem Strahle, der von Luft auf Glas gelangt, mehr reflectirt, als von einem, der von Waſſer auf Glas fällt, polirte Metalle reflectiren ihres großen Brechungsvermögens wegen ſehr viel Licht. Je ſchiefer ein Strahl einfällt, deſto größer iſt

der reflectirte Antheil. Eine Glastafel, eine Waſſerfläche glänzt vom reflectirten Lichte deſto mehr, je ſchiefer man ſie anſieht, ja wenn ein Strahl von einem mehr brechenden Mittel in ein minder brechendes übergeht, ſo kann bekanntlich bei beſtimmten Einfallswinkeln ſogar alles Licht reflectirt werden. Merkwürdig iſt es, daß die regelmäßig reflectirte Lichtmenge gar nicht von der Durchſichtigkeit der Mittel abzuhängen ſcheint. Läßt man directes Sonnenlicht auf die Oberfläche des in einem inwendig geſchwärzten Gefäße enthaltenen Waſſers und hierauf auf die Oberfläche von Tinte fallen, ſo erſcheint das Sonnenbild bei gleich ſchiefer Stellung des Auges in beiden Flüſſigkeiten gleich hell und doch iſt eine davon ſo ſehr, die andere gar nicht durchſichtig. Die Menge des zerſtreuten Lichtes hängt von den an der Grenze der zwei Mittel befindlichen Rauhheiten, von Staubtheilchen ꝛc. ab, denn dieſe müſſen ſchon ihrer Geſtalt nach die Strahlen nach verſchiedenen Richtungen reflectiren, ſie bewirken aber auch eine Beugung des reflectirten Lichtes, wodurch die Zerſtreuung noch erhöht wird. Darum zerſtreuen mattes (rauhes) Glas, Metalle ꝛc. faſt alles Licht, flüſſige Körper aber in der Regel ſo wenig. Die an der Oberfläche befindlichen Rauhheiten bewirken nicht ſelten auch, daß ſich die reflectirten Strahlen durch Interferenz aufheben, wie dieſes Brewſter an einem Stücke Rauchtopas bemerkte, der an ſeinen natürlichen Flächen viel Licht reflectirte, an einer Bruchfläche aber ſo ſchwarz war, als hätte man ihn mit ſchwarzem Pigmente überzogen.

Nach Bouguer wird von einem Lichtſtrahle, der ſenkrecht von der Luft auf Waſſer fällt 0.018, von einem, der eben ſo von Luft auf Glas kommt, 0.025 reflectirt. Nach Herſchel reflectirt ein Metallſpiegel 0.673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0.483; 0.367; 0.279; 0.210; 0.165; 0.136; 0.115; 0.98. Schwarzer Marmor reflectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0.6; 0.156; 0.051; 0.023.

91. Jener Theil des auffallenden Lichtes, welcher nicht reflectirt oder zerſtreut wird, dringt in das neue Mittel ein und wird gebrochen. Verläßt er das Mittel wieder, ſo erfährt er beim Austritte eine ähnliche Theilung wie beim Eintritte und es kann nur ein Theil desſelben das Mittel verlaſſen, der andere wird ins Innere zurückgeworfen, an der erſteren Grenze wieder getheilt u. ſ. f.

Es wird daher immer ein Theil des Lichtes in einem ſolchen Mittel zurückbleiben müſſen und ſeiner leuchtenden Kraft beraubt, d. h. abſorbirt werden. Ja der gebrochene Strahl kann nicht einmal im Inneren des Mittels ſeinen Weg ungeſchwächt fortſetzen, ſondern wird durch Bläschen, ungleichartige Stellen der Maſſe des Mittels und durch den Mangel an Continuität dieſer Maſſe, faſt an jeder Stelle wieder zum Theile reflectirt und zerſtreut. Dieſen Hergang zeigt deutlich folgender Verſuch: Man leite einen intenſiven Lichtſtrahl *AB* (Fig. 212) in ein verfinſtertes Zimmer und laſſe ihn recht ſchief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da ſieht man den reflectirten Strahl deutlich im Inneren des Glaſes den Weg *BFCGDHEI* nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I* in die Luft austreten. Der Glaskörper ſelbſt erſcheint in allen Puncten des Inneren ſichtbar, zum Beweiſe, daß auch faſt an jeder Stelle eine Zerſtreuung des Lichtes eintrete und ſich der an den äußeren Grenzen bemerkbare Vorgang im Inneren unzähligemal wiederhole. Eine natürliche Folge dieſes Verhaltens iſt, daß ſelbſt bei dem durchſichtigſten Mittel der reflectirte und der durchgelaſſene Strahl zuſammengenommen eine geringere Intenſität habe als der einfallende und daß der Unterſchied deſto größer ausfalle, je größer der Weg iſt, den das Licht im Inneren eines Körpers zurücklegen muß. Denkt man ſich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intenſität des eindringenden Lichtes I und ſtellt ſich vor, in jeder ſolcher Schichte werde der Theil μI desſelben abſorbirt; ſo hat offenbar das Licht in der erſten Schichte die Intenſität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intenſität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (m^{ten}) die Intenſität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtſtärke in einem geometriſchen Verhältniſſe ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetiſchem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab.

Nach Lambert wird von einer grünlichen Glasplatte bei einem Einfallswinkel von 41° $\frac{3}{17}$ des einfallenden Lichtes abſorbirt. Seewaſſer abſorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht und ſelbſt die Luft würde bei einer Höhe von 518,385 Toiſen alles Sonnenlicht abſorbiren. Dieſelbe läßt nach Lambert beim ſenkrechten Einfallen 0.5889 durch. Ein Stück gemeinen Fenſterglaſes läßt die Hälfte, 16 ſolche Stücke, die zuſammen 9½ L. dick ſind, laſſen $\frac{1}{247}$ und 76—80 ſolche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch.

92. Die vorhergehenden Wahrheiten ſind geeignet, uns über die Bedingungen der Durchſichtigkeit und Undurchſichtigkeit zu unterrichten. Es hat den Anſchein, als wenn zur Durchſichtigkeit eines Stoffes vor allem eine gewiſſe optiſche Gleichartigkeit einer Maſſe (ein nahe an allen Theilen derſelben gleiches Brechungsvermögen) erfordert würde; wenigſtens wird in unzähligen Fällen die Durchſichtigkeit geſteigert oder ſogar erſt hergeſtellt, wenn man dieſe Homogeneität erhöht. So z. B. wird Papier durchſichtiger, wenn man die in ſeinen Poren enthaltene Luft durch Öhl erſetzt (es öhlet). Luft wird durchſichtiger, wenn ſie Dünſte aufnimmt, alle Gaſe ſind durchſichtig, weil ihr Brechungsvermögen von dem des leeren Raumes (ihrer Poren) nicht um viel verſchieden iſt. Der Hydrophan kommt an Durchſichtigkeit dem Glaſe gleich, wenn man die Luft in ſeinen Zwiſchenräumen durch Waſſer erſetzt. Ein nicht polirtes Glasſtück erſcheint völlig durchſichtig, wenn man es mit Waſſer oder noch beſſer mit Terpentinöhl benetzt, deſſen Brechungsvermögen dem des Glaſes nahe gleichkommt; ja man kann dieſen Umſtand ſogar zur Beſtimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieſer Größe entweder zu klein iſt oder zu wenig durchſichtig erſcheint, anwenden, indem man nur eine Flüſſigkeit auszumitteln braucht, in welcher derſelbe völlig durchſichtig erſcheint, das Brechungsvermögen dieſer Flüſſigkeit iſt dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieſes Mittel erkennt man auch leicht die kleinſten, die Durchſichtigkeit ſtörenden Fehler im Inneren ungeſchliffener Edelſteine. Zwei Glasplatten ſind durchſichtiger, wenn ſich Waſſer, als wenn ſich Luft zwiſchen ihnen befindet, am durchſichtigſten aber, wenn man ſie mit einem aus Guajacharz und Canadabalſam beſtehenden Firniß zuſammenkittet. Glas verliert ſeine Durchſichtigkeit durch Zerſtoßen (Mengen der Glastheile mit Luft). Außer dieſer optiſchen Gleichartigkeit einer Maſſe ſcheint zur Durchſichtigkeit noch erforderlich zu ſeyn, daß ihr Brechungsvermögen von dem ihres Mittels nicht zu ſtark abweiche, weil, wenn der Unterſchied dieſer zwei Vermögen zu groß iſt, der eindringende Theil eines auffallenden Lichtſtrahls eine zu geringe Intenſität hat, um eine Schichte von merklicher Dicke durchdringen zu können, und faſt alles Licht reflectirt wird. Darum ſind alle Metalle, deren Brechungsvermögen gegen die äußeren, gewöhnlichen, durchſichtigen Mittel ſehr groß iſt, undurchſichtig.

Es iſt wohl begreiflich, daß beide hier erwähnte Eigenſchaften vorhanden ſeyn müſſen, wenn ein Stoff durchſichtig ſeyn ſoll.

93. Die hier erörterten Geſetze laſſen ſich im Allgemeinen auf zwei Hauptgeſetze zurückführen, nämlich auf die bei jedem Wechſel des Mittels Statt findende Zerlegung eines Lichtſtrahls in zwei Theile von beſtimmter Intenſität, und auf die Abnahme der Lichtſtärke beim Fortſchreiten eines Strahles im Inneren eines Körpers. Über das erſte Geſetz gibt die Vibrationshypotheſe vollkommen Auskunft, es iſt mit der vibrirenden Bewegung ſo innig verbunden, daß es auch beim Schall immer eintritt. (I. 325.) Ja ſogar das Verhältniß zwiſchen der Intenſität des reflectirten und des durchgelaſſenen Antheils läßt ſich nach dieſer Anſicht numeriſch angeben. Nach der Theorie wird von einem Strahle, der ſenkrecht von Luft auf Waſſer fällt, an der Berührungsfläche beider Mittel 0.020 reflectirt, von einem, der eben ſo von der Luft auf Glas gelangt 0.046. Verſuche geben für den erſten Fall 0.018, für den zweiten 0.025. Die Emanationshypotheſe weiß darauf nicht genügend zu antworten; denn dieſes Geſetz dadurch erklären zu wollen, daß man ſagt, ein Theil der auffallenden Strahlen ſey zur Reflexion, der andere zur Transmiſſion geneigt, heißt doch nur das Factum mit anderen Worten ausdrücken, aber nicht ſeinen in der Natur des Lichtes liegenden Grund angeben. Aus dem erſten Geſetze folgt das Allgemeine des zweiten von ſelbſt, wenn man annimmt, daß ein Strahl im Inneren eines Körpers von einem materiellen Theilchen in einen Zwiſchenraum, und von dieſem wieder in die Materie des Körpers übergehen muß und bei jedem dieſer Übergänge eine Zerlegung in zwei Theile erleidet. In Betreff der Verſchiedenheit des Werthes von μ (91) für verſchiedene Körper und verſchiedene Strahlen ſtehen beide Hypotheſen über das Licht auf einerlei Stufe. Die eine iſt gezwungen, die Größe der Acceſſe für die verſchiedenfarbigen Strahlen verſchieden anzunehmen, die andere die Schwingungsfähigkeit des in den Körpern enthaltenen Äthers oder ihrer Maſſe für verſchiedene Wellen verſchieden vorauszuſetzen.

94. Theils zur ſtrengen Begründung der vorhergehenden photometriſchen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehöriger intereſſanter Fragen, muß man die Intenſitäten ſowohl des directen als des von Körpern auf was immer für eine Weiſe modificirten Lichtes meſſen können. In dieſer Beziehung treten aber ganz beſondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die

zu einem Maßſtabe für anzuſtellende Lichtmeſſungen nöthige Unveränderlichkeit beſitzt, und ſind daher gezwungen, jedesmal, wenn ſolche Unterſuchungen anzuſtellen ſind, irgend ein für die Dauer derſelben möglichſt gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Beſtimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim geſtellt und man hat keine Scale, an der ſich dieſer Grad abnehmen ließe. Das Auge iſt aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwiſchen der Stärke zweier leuchtender Körper beſtimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei allen photometriſchen Beſtimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtſtärken zur Gleichheit bringen und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es ſo ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverſchiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere oder die mit einem gemeinſchaftlichen Maße gemeſſen werden ſollen, ſchlechterdings nicht vorhanden ſeyn ſoll. Die Inſtrumente, welche zur Vergleichung verſchiedener Lichtſtärken dienen, heißen **Photometer**. Es gibt deren mehrere. Eines der einfachſten iſt das **Rumford'ſche**. Es beruht auf dem Grundſatze, daß der Schatten eines Körpers deſto dunkler erſcheint, je ſtärker ſeine Umgebung erleuchtet iſt, und beſteht im Weſentlichen aus einer vertical ſtehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa $\frac{1}{2}$ Zoll dicker cylindriſcher Stab ſteht. Will man den Glanz zweier leuchtender Körper (für welche dieſes Inſtrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, ſo ſtellt man ſie ſo hinter den Stab, daß derſelbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle ſo weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erſcheinen. In dieſem Falle verhalten ſich die Lichtſtärken wie die Quadrate der Diſtanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Ein anderes ſehr ſinnreiches photometriſches Mittel, beſonders für leuchtende Körper, hat **Wollaſton** angegeben. Soll z. B. das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen werden, ſo läßt er erſteres auf eine mit Queckſilber gefüllte Thermometerkugel fallen und ſieht das durch Reflexion entſtandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinſe mit dem anderen Auge an, ändert endlich die Entfernungen dahin ab,

bis beide Bilder gleich hell erſcheinen und berechnet dann aus dem Halbmeſſer der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtſtärke. Es iſt klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verſchiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältniſſes jener Körper unter einander gelangen kann. Bouguer, Lambert und Ritchie entnehmen die Lichtſtärke zweier leuchtender und beleuchteter Körper aus der Stärke der Beleuchtung, die dadurch einer weißen Fläche zu Theil wird. Des letzteren Photometer iſt beſonders zu empfehlen. Es beſteht aus einem Kaſten (Fig. 213), der beiderſeits offen und inwendig geſchwärzt iſt und worin ſich zwei glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kaſtens um 45° geneigte ebene Papierflächen *a* und *b* befinden, denen gegenüber eine Öffnung *EG* angebracht iſt. Beim Gebrauche ſtellt man jeden der zwei zu vergleichenden Körper einer der zwei Papierflächen im Kaſten gegenüber, ſo daß letztere durch erſtere Licht erhalten und ändert dieſe Entfernung ſo lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden laſſen; in dieſem Falle muß ſich der Glanz der Lichtquellen wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieſes Inſtrument geſtattet eine große Präciſion beſonders, wenn man zur genauen Beſtimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Öffnung *EG* eine Convexlinſe anbringt und durch ſie auf jene Flächen hinſieht. Lampadius mißt die Lichtſtärke nach der Dicke der Körper, die das zu prüfende Licht nicht mehr in einer vom Auge bemerkbaren Quantität durchlaſſen, Leslie endlich nach ſeiner erwärmenden Kraft, Sauſſure, Landriani nach ſeinen chemiſchen Wirkungen.

Nach Wollaſton ſcheint das Sonnenlicht ſo ſtark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge ſenden. Das Licht des Sirius iſt 20,000 millionenmal ſchwächer als das Sonnenlicht und neunmal ſtärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $\frac{1}{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 F. Entfernung oder $\frac{1}{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei ſeinen verſchiedenen Phaſen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0.0000	70	0.3366	130	0.5747
10	0.0494	80	0.3814	140	0.6043
20	0.0986	90	0.4244	150	0.6294
30	0.1475	100	0.4657	160	0.6490
40	0.1959	110	0.5048	170	0.6619
50	0.2437	120	0.5413	180	0.6666
60	0.2907				

Die Einheit dieſer Zahlenangaben iſt die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenſtrahlen ſenkrecht getroffenen Stelle. Die mittlere Helligkeit der Planeten in der Oppoſition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6.6735	Mars	0.4307
Venus	1.9113	Jupiter	0.0370
Erde	1.0000	Saturn	0.0110

95. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge beſtimmen, die ein durchſichtiger Körper reflectirt oder abſorbirt; ſo darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich conſtanter Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln ſuchen, wenn ſie ihr Licht unmittelbar auf den photometriſchen Apparat ſenden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch dieſen Körper gegangene Licht nun ſchwächer erſcheint als vorhin, ſo viel kommt auf Rechnung der Abſorption und Reflexion dieſes Körpers. Wäre z. B. die Flamme einer Kerze dreimal ſtärker befunden worden als die einer anderen, aber nur $2\frac{1}{2}$mal ſtärker als dieſelbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen iſt; ſo beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und abſorbirten Strahlen $\frac{1}{6}$ der auffallenden. Auf ähnliche Weiſe kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer beſtimmen. Geſetzt man wollte die von weißem Papier reflectirte Lichtmenge mittelſt Ritchie's Photometer beſtimmen, ſo bringe man zwei Kerzenflammen A und B in ſolche Stellung gegen die Flächen a und b, daß ſie dieſelben gleich ſtark erleuchten, nehme dann eine Kerze, z. B. B weg und erſetze ſie durch das zu prüfende Papier, bringe aber vor ihm ſeitwärts B ſo an, daß das Papier dadurch erleuchtet wird, jedoch kein Licht unmittelbar von der Lichtquelle ins Photometer gelangen kann, ändere endlich die Entfernung dieſer Kerze vom Papier und die des Papiers vom Photometer ſo lange, bis die beiden Flächen a und b des Photometers gleich beleuchtet erſcheinen. Iſt nun die Entfernung der Kerze A von der durch ſie beleuchteten Fläche im Photometer $=f$, die des zu prüfenden Papiers von der anderen Fläche $=g$, endlich die Entfernung der Kerzenflamme B von dieſem Papiere $=h$; ſo verhält ſich die Lichtſtärke der Kerze A zur Lichtſtärke des Papiers wie $1 : \frac{g^2}{h^2 f^2}$. Verhält ſich endlich die Lichtſtärke von A zu der von B wie $n:1$; ſo bezeichnet $\frac{n^2 g^2}{h^2 f^2}$ die Men-

ge der Strahlen, welche das Papier von dem auffallenden Lichte reflectirt.

96. Bisher ſind nur die Fälle betrachtet worden, wo jede Gattung farbiger Strahlen im gleichen Verhältniſſe abſorbirt wurde und daher der Körper weiße Strahlen reflectirte oder durchließ, wenn er vom weißen Lichte, blaue, wenn er vom blauen ꝛc. beleuchtet wurde. Es gibt aber auch unzählige Fälle, wo das auffallende Licht in farbige Theile zerlegt wird und einige derſelben durchgelaſſen, andere reflectirt werden, ja da mit der Brechung ſtets eine Farbenzerſtreuung vorkommt und zwei Mittel von ungleicher Brechkraft meiſtens auch ein ungleiches Farbenzerſtreuungsvermögen beſitzen, ſo muß bei jedem Wechſel des Mittels das durchgelaſſene und reflectirte Licht eine Farbenänderung erleiden, doch iſt dieſe oft ſo gering, daß ſie unſerem Auge entgeht. So reflectirt z. B. Gold von dem auffallenden weißen Lichte die gelben Strahlen und läßt die grünen in ſeine Maſſe eindringen, darum erſcheint ein ſehr dünnes Goldplättchen im reflectirten Lichte gelb, im durchgelaſſenen grün; eben ſo reflectirt Meerwaſſer die grünen Strahlen und nimmt die rothen auf. Die in die Maſſe eines Körpers eindringenden Strahlen werden häufig in derſelben abſorbirt (91), oft aber auch durchgelaſſen oder an der zweiten Grenze wieder gegen die erſte reflectirt und ſo ins erſte Mittel zurückgeſendet. Hält man vor eine dicke grüne Glasplatte ein Streifchen Papier; ſo ſieht man im reflectirten Lichte zwei Bilder desſelben und zwar ein grünes und ein rothes, wovon das erſte durch Reflexion an der erſten, das andere durch Reflexion an der zweiten Fläche entſtanden iſt. Nach den von Herſchel gemachten Erfahrungen werden verſchiedenfarbige Strahlen in demſelben Mittel immer nach dem Geſetze abſorbirt, daß die Menge des abſorbirten Lichtes in einem geometriſchen Verhältniſſe wächſt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetiſchen Verhältniſſe zunimmt, allein der Exponent $1-\mu$ des geometriſchen Verhältniſſes (91) hat für jede Strahlengattung einen anderen Werth. In dieſem Geſetze liegt der Schlüſſel zur Erklärung aller Farbenerſcheinungen. Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlaſſen, für welche der Werth von μ am kleinſten iſt und die übrigen abſorbiren oder reflectiren. Kann man ihn ſo dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, ſo wird er anders gefärbt erſcheinen. Von der Art iſt z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte ſmaragdgrün, in einer dicken

hingegen blutroth ausſieht. Man darf aber hierbei nicht vergeſſen, daß Strahlen, deren Intenſität unter eine gewiſſe Größe herabſinkt, keinen Eindruck mehr in unſerem Auge hervorbringen.

97. Es iſt Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorſtellung des Weißen läßt ſich ſo wenig als die einer anderen Farbe durch eine Beſchreibung beibringen; dem Phyſiker iſt aber bekannt, daß weißes Licht aus allen farbigen in einem gewiſſen Verhältniſſe gemiſchten Strahlen beſtehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältniſſe reflectirt, wie ſie im weißen Lichte vorkommen, und ſeine Weiße heißt abſolut, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältniſſe zerſtreut zurückwirft. Dieſe abſolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem ſie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So iſt die Weiße $=\frac{1}{8}$, wenn $\frac{1}{8}$ der auffallenden Strahlen zerſtreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßſtab der Weiße macht, eben ſo kann man das in demſelben enthaltene rothe Licht zum Maßſtabe der Röthe, das darin befindliche Blaue zum Maßſtabe der Bläue ꝛc. machen, und die Röthe, Bläue ꝛc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerſtreut zurückwirft. Die Beſtimmung dieſer Zahl geſchieht durch beſondere Verſuche. So z. B. beſtimmt Lambert die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desſelben auf ein ſchwarzes, von der Sonne ſtark beſchienenes Papier legt und neben dieſelbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge anſieht, hält er über das weiße Papier ein dreiſeitiges Glasprisma, richtet es auf dieſes Papier und wendet es ſo lange, bis der durch dasſelbe erſcheinende rothe Streifen auf dem Papiere ſo intenſiv roth erſcheint, wie das Siegellack. Es iſt alſo hier die Röthe des Siegellackes der Weiße des Papiers gleich; wegen der unvollkommenen Durchſichtigkeit des Prisma's iſt aber letztere um ſo viel größer, als das Prisma Licht abſorbirt oder zerſtreut. Da nun die Weiße des Papiers aus anderen Verſuchen bekannt iſt (95), ſo iſt auch die Röthe des Siegellackes gefunden. Die ſogenannten farbigen Körper reflectiren nicht blos das Licht von jener Farbe, unter der ſie erſcheinen,

ſondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße ꝛc. eines grünen, gelben, blauen Körpers ſprechen und ſie ſogar durch Verſuche, wie der vorhergehende war, beſtimmen.

Nach Lambert's Verſuchen iſt die Weiße eines Blattes ſehr weißen Papiers =0.154, des Fließpapiers kaum =0.0335, des Kremſerweißes =0.4230, die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers =0.293, die Röthe des mit Zinnober gefärbten =0.336. (*Lambert Photometria. Aug. Vind.* 1760. Das Hauptwerk über Photometrie. *Bouguer sur la grad. de la lumière. Paris*, 1760. Zeitſch. 1. 72; 1. 453; 6. 466; 9. 217. Gilb. Ann. 5. 235, 253; 10. 369. Schweigg. J. 10. 124; 11. 361.)

Zehntes Kapitel.

Doppelte Brechung und Polariſation des Lichtes.

98. Im ſiebzehnten Jahrhunderte entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Kryſtall von kohlenſaurem Kalk, der wegen ſeines häufigen Vorkommens in Island isländiſcher Krytall genannt wird, die merkwürdige Eigenſchaft, Gegenſtände, welche durch ihn angeſehen werden, doppelt zu zeigen. Man heiſt ihn daher und wegen ſeines blättrigen Gefüges, isländiſchen Doppelſpath. Bartholin überzeugte ſich bald, daß dieſe Erſcheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Kryſtalls auf das Licht hervorgebracht werde, und ſuchte die Geſetze, nach denen ſie geſchieht, näher zu beſtimmen. Es war aber erſt dem verdienſtvollen Huyghens vorbehalten, dieſe Geſetze ſo genau darzuſellen, daß ſelbſt Wollaſton, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortſchrite der Wiſſenſchaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtign vermochten. — Der Doppelſpath erſcheint gewöhnlich als eine von ſechs rhomboidalen Flächen begrenzte Geſtalt. Da ſein Blätterdurchgang mit ſeinen Flächen parallel iſt, ſo läßt ſich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 214) daraus gewinnen, welches demnach ſeine Kerngeſtalt iſt. An dieſem Kryſtalle kommen zwei einander entgegengeſetzte Ecken A und B vor, deren jede von gleichen, ſtumpfen, ebenen Winkeln gebildet und von gleichen Kanten eingeſchloſſen wird; an jeder der ſechs übrigen Ecken findet

ſich ein ſtumpfer und zwei ſpitzige ebene Winkel und die Kanten ſind nicht gleich. Wir wollen erſtere Ecken die ſtumpfen, die anderen die ſpitzigen nennen. Eine Ebene *ACBD*, die auf einer Fläche des Kryſtalls ſenkrecht ſteht und die zu den ſtumpfen Ecken desſelben gehörigen, ſtumpfen Winkel halbirt, heißt der **Hauptſchnitt** des Kryſtalls. Die Linie *AB*, welche mit allen drei Kanten der ſtumpfen Ecke gleiche Winkel macht, iſt die **Axe** des Körperwinkels *A* und zugleich die **Axe der doppelten Brechung**. Sie iſt die zu den ſtumpfen Ecken des Rhomboeders gezogene Diagonale. Unter Hauptſchnitt und Axe der ſecundären Geſtalt des Doppelſpathes verſteht man eigentlich den Hauptſchnitt und die Axe ihrer Kerngeſtalt. Es wird aber die Axe hier nicht mehr zugleich die Diagonale des Kryſtalls ſeyn und der Hauptſchnitt wird nicht mehr durch beide Kanten gehen. Fig. 215 ſtellt dieſe Geſtalt, *AF* die Axe der doppelten Brechung und *ACDE* den Hauptſchnitt vor.

99. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Öffnung verſieht und es auf eine Fläche des Doppelſpathes legt, dann durch die Öffnung einen Lichtſtrahl leitet; ſo bemerkt man, daß derſelbe im Kryſtalle in zwei Bündel getheilt werde, wovon eines nach den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen gebrochen wird, während das andere ganz eigenthümliche Geſetze befolgt. Noch beſſer ſieht man dieſes mit einem dreiſeitigen Prisma aus Doppelſpath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Sobald beide Strahlen den Kryſtall verlaſſen haben, richtet ſich wieder jeder nach den gewöhnlichen Geſetzen, ſo daß der ausfahrende Strahl mit dem einfallenden in paralleler Richtung fortgeht.

100. Um die Geſetze der doppelten Brechung in dieſem Körper zu unterſuchen, empfiehlt **Malus** ein rechtwinkeliges, auf Papier oder Elfenbein verzeichnetes Dreieck *ABC* (Fig. 216), deſſen Seite *BC* viel kleiner iſt als *AC*. Sieht man dieſes durch einen Doppelſpath an, ſo erſcheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild *A′C* der Seite *AC*, die Hypothenuſe *AB* in *D′* ſchneiden. Nimmt man nun $AD = A'D'$, ſo iſt klar, daß ein Strahl von *D* und einer von *D′* beim Ausfahren aus dem Kryſtalle in die Luft ſich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Kryſtall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach *D′*, das andere nach *D* ginge. Da nun die Lage von *D* gegen *D′*, die Dicke des Kryſtalls und die Lage der *AC* gegen den Hauptſchnitt gegeben iſt; ſo

braucht man nur noch den Einfallspunct I des Strahles und ſeine Neigung gegen $ADBC$ zu wiſſen, um die Brechungsgeſetze genau angeben zu können.

101. Auf dieſe Weiſe überzeugt man ſich vom Stattfinden folgender Geſetze: 1) Fällt ein Lichtſtrahl ſenkrecht auf den Kryſtall, ſo geht ein Theil davon in unveränderter Richtung fort, der andere hingegen erleidet die ungewöhnliche Brechung und wird um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den ſpitzigen Winkel des Rhomboeders abgelenkt, doch ſo, daß er mit dem ungebrochenen Strahl in einer zu dem Hauptſchnitte parallelen Ebene liegt. 2) Fällt ein Strahl ſchief ein, ſo wird er in zwei Bündel geſpalten, wovon eines die gewöhnlichen Brechungsgeſetze befolgt, während ſich das andere nach anderen Geſetzen richtet. Wenn die Einfallsebene mit dem Hauptſchnitte parallel iſt oder mit ihm zuſammenfällt, ſo bleibt zwar auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieſer Ebene, aber der Brechungsexponent iſt nicht conſtant, ſondern ändert ſich mit dem Einfallswinkel; iſt die Einfallsebene gegen den Hauptſchnitt geneigt, ſo iſt für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl nicht blos der Brechungsexponent veränderlich, ſondern er tritt auch aus der Einfallsebene heraus und wird gleichſam vom Hauptſchnitte weggetrieben, und zwar deſto mehr, je mehr ſich der Winkel, den die Einfallsebene des Strahles mit dem Hauptſchnitte macht, einem rechten nähert. Iſt dieſer Winkel ein rechter, ſo bekommt dieſe Ablenkung vom Hauptſchnitte ihren größten Werth. 3) Schleift man vom Kryſtalle ſolche Stücke weg, daß Flächen entſtehen, welche auf der Axe des Kryſtalls ſenkrecht ſtehen oder mit ihr parallel ſind; ſo wird ein Strahl, der ſenkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel geſpalten, noch überhaupt gebrochen. Schief einfallende Strahlen erleiden eine doppelte Brechung; der auf ungewöhnliche Art gebrochene Theil weicht von dem auf gewöhnliche Art gebrochenen deſto mehr ab, je größer der Einfallswinkel iſt, bleibt aber in der Einfallsebene und hat einen conſtanten Brechungsindex; bei einerlei Einfallswinkel iſt daher dieſe Abweichung rings um die Axe von einerlei Größe. Der Brechungsindex iſt für den gewöhnlich gebrochenen Strahl 1.4833, für den ungewöhnlich gebrochenen 1.6543. Aus dieſem erſieht man, der weſentliche Unterſchied zwiſchen dem gewöhnlich und dem ungewöhnlich gebrochenen Strahl beſtehe darin, daß erſterer in demſelben Mittel eine conſtante, von dem Einfallswinkel unabhängige Geſchwindig-

keit habe, während ſich die Geſchwindigkeit des letzteren ſelbſt in demſelben Mittel mit ſeiner Neigung gegen die Brechungsaxe ändert.

Aus dieſen Geſetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt ſich von allen Erſcheinungen am Doppelſpathe auf das genaueſte der Grund angeben. Iſt z. B. *ABCD* (Fig. 217) ein Hauptſchnitt des Kryſtalls, *E* ein leuchtender Punct, ſo wird unter den Strahlen, die er auf *CD* ſendet, einer ſeyn, deſſen gewöhnlich gebrochener Theil *EFG* das Auge *O* trifft, während ſein ungewöhnlich gebrochener Antheil *EFgx* für dasſelbe verloren geht; dafür wird es aber einen anderen Strahl *EH* geben, deſſen ungewöhnlich gebrochener Theil *HI* nach *O* gelangt, deſſen ordentlich gebrochener *Hiy* aber ſeitwärts vorbeigeht. Das Auge ſieht daher den Punct *E* zweimal und zwar in den Verlängerungen von *OG* und *OI*. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entſtandene Bild wird von *D* weiter entfernt ſcheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil ſich die Strahlen in *K* kreuzen. Aus dieſer Durchkreuzung erklärt ſich auch folgende Erſcheinung: Hält man einen isländiſchen Kryſtall ſehr nahe ans Auge, und ſieht damit auf einen Punct ſo, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs des Hauptſchnittes hin; ſo wird derjenige Punct zuerſt verdeckt erſcheinen, der vom Papier am weiteſten abſteht. Auf gleiche Weiſe erklärt man, warum eine mit dem Hauptſchnitte parallele Linie einfach geſehen werden kann, warum ſich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den Kryſtall aus dieſer Lage um eine, auf die geſehene Linie ſenkrechte Axe dreht, warum überhaupt bei dieſem Drehen das außerordentliche Bild ſich um das ordentliche bewege u. dgl. m. Setzt man zwei gleiche dreiſeitige Prismen *ABC* und *BDC* (Fig. 218) aus Doppelſpath zuſammen, die ſo geſchnitten ſind, daß die Brechungsaxe im erſten auf *AB* ſenkrecht iſt, im zweiten hingegen mit der Kante *C* parallel läuft; ſo wird ein Lichtſtrahl *EF*, der ſenkrecht auf *AB* fällt, im erſten Prisma weder geſpalten, noch überhaupt von ſeinem Wege abgelenkt. So wie er aber *G* trifft, wird ein Theil davon gerade nach *H* fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung *GIK* annehmen. Befindet ſich nun in *H* das Auge, ſo bekommt es nur den Theil *GH* des Lichtſtrahls *EF*, dafür erhält es aber von einem anderen Strahl *E'F'* den ungewöhnlich gebrochenen Antheil *G'I'H*. Wenn auch beide Strahlen von demſelben Puncte ausgegangen ſind, ſo ſieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach *HE*, das andere nach *HE''*. Dieſe zwei Bilder ſtehen bei übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr von einander ab, je näher ſich das Auge am Prisma befindet; bei einer beſtimmten Entfernung des Auges vom Prisma werden ſie ſich am Rande berühren. Dieſe Zuſammenſetzung machte zuerſt Rochon. Außer der doppelten Brechung gibt es im Doppelſpathe auch noch nach Um-

ſtänden eine einfache oder doppelte Reflexion. Fällt ein Strahl *AB* (Fig. 219) in der Ebene des Hauptſchnittes auf den Kryſtall, ſo wird ein Theil desſelben gleich nach den gewöhnlichen Geſetzen der Reflexion zurückgeworfen, der andere dringt in den Kryſtall ein und wird in zwei Bündel geſpalten, wovon *BC* das gewöhnlich gebrochene, *BC'* das ungewöhnlich gebrochene vorſtellt. In *C* und *C'* wird ein Theil des Lichtes in die Luft übergehen und dort eine mit *AB* parallele Richtung annehmen, ein anderer hingegen wird zurückgeworfen und nach den Geſetzen der Reflexion die Richtung *CD* und *C'D'* annehmen. Liegt aber *AB* nicht in der Ebene des Hauptſchnittes oder in einer ihr parallelen, ſo ereignet ſich alles wie vorhin, nur wird jeder der in *C* und *C'* zurückgeworfenen Strahlen ſelbſt wieder in zwei Theile *CD*, *Cd* und *C'D'*, *C'd'* geſpalten, und es iſt gerade ſo, als wenn auf *C* und *C'* zwei parallele Strahlen *a'C* und *a'C'* aufgefallen wären.

102. Das Phänomen der doppelten Brechung findet nicht blos am Kalkſpathe Statt, ſondern man kann es als eine allgemeine Regel anſehen, daß alle durchſichtigen Kryſtalle, die nicht zu den vielaxigen gehören, das Licht doppelt brechen. In jedem ſolchen Körper heißt die gerade Linie, längs welcher keine doppelte Brechung erfolgt, die Axe der doppelten Brechung und die Ebene, welche auf einer Fläche des doppelt brechenden Körpers ſenkrecht ſteht und die Brechungsaxe enthält, der Hauptſchnitt. Beim Doppelſpath iſt die Axe gegen die natürlichen Flächen des Kryſtalls ſtark geneigt und die doppelte Brechung an und für ſich ſehr ſtark, darum bemerkt man ſie ſo leicht; bei den meiſten andern doppelt brechenden Körpern hat die Axe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf ſolche Flächen ſenkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja ſelbſt ſchief einfallende werden in zwei ſo wenig divergirende Lichtbüſchel getheilt, daß bei der meiſtens nur geringen Dicke der Kryſtalle die beiden durch doppelte Brechung entſtandenen Bilder ſich faſt decken und als ein Bild erſcheinen, wenn ſie nicht ſehr geringe Dimenſionen haben. Darum muß man ſolchen Kryſtallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künſtliche, gegen die Axe der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkryſtalle, der als Combination eines ſechsſeitigen Prisma's und einer ſechsſeitigen Pyramide erſcheint (Fig. 220), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenſtand durch *cdmn* und *ghry* anſieht. Schleift man aber *ghry* ſo weg, daß eine mit *cbd* parallele Fläche entſteht, ſo erſcheint das Phänomen der doppelten Brechung recht

deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechender Kryſtalle erkennt man ſelbſt dann, wenn ſie zweckmäßig geſchnitten ſind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angeſehenen, ſcharfen Nadelſpitze.

103. In vielen doppelt brechenden Körpern gibt es nur eine einzige Linie, längs welcher keine doppelte Brechung erfolgt, d. h. nur eine Axe der doppelten Brechung, in anderen finden ſich zwei dergleichen. Dieſe ſind ſtets gegen einander geneigt, doch ändert ſich ihr Neigungswinkel oft mit der Temperatur und kann ſogar = 0 werden, und daher ein Körper bei einer beſtimmten Temperatur in die Reihe der einaxigen, bei einer anderen in die der zweiaxigen gehören. Wo nur eine Axe der doppelten Brechung vorhanden iſt, da fällt ſie ſtets mit einer Hauptaxe der Kryſtallgeſtalt zuſammen oder iſt ihr parallel; ja die Kryſtallgeſtalt läßt ſogar erkennen, ob nur eine Axe vorhanden ſey oder nicht; denn alle Kryſtalle, die ſich vom Rhomboeder oder von der gleichſeitigen vierſeitigen Pyramide ableiten laſſen (die nach Mohs in das rhomboedriſche oder pyramidale Syſtem gehören), aber auch nur dieſe ſind eben ſolcher Art. Wo zwei Brechungsaxen vorhanden ſind, da läßt ſich ihre Lage durchaus nicht aus der Lage der Kryſtallaxen erkennen, doch halbirt meiſtens eine Hauptaxe des Kryſtalls den Winkel der zwei optiſchen Axen, es läßt ſich aber das Vorhandenſeyn ſolcher zwei Axen ebenfalls aus der Kryſtallgeſtalt erkennen; denn alle doppelt brechenden Körper, deren Kryſtallgeſtalt ſich nicht vom Rhomboeder oder von der vierſeitigen gleichſeitigen Pyramide ableiten läßt, gehören hieher. Übrigens darf man eine optiſche Axe, ſelbſt wenn ſie mit einer Kryſtallaxe zuſammenfällt, nicht mit derſelben verwechſeln. Kryſtallaxen kommen den Körpern nur als Ganzem zu, optiſche Axen ſind jedem kleinſten Theilchen eigen und ein Kryſtall hat ſelbſt, wenn er einaxig heißt, ſo viele optiſche Axen, als es Puncte gibt, welche ein Lichtſtrahl treffen kann; die Axen aller Puncte laufen aber mit einander parallel, nur weil eine derſelben mit einer Kryſtallaxe zuſammenfällt, mithin aus der Kryſtallgeſtalt erkannt werden kann, zählt man gewöhnlich nur dieſe. Dasſelbe gilt von den zweiaxigen Kryſtallen.

104. Kryſtalle mit einer Axe bringen im Allgemeinen dieſelben Phänomene der doppelten Brechung hervor, wie die Doppelſpathe, nur die numeriſchen Werthe der Brechungsexponenten fallen für jeden beſonders aus und darin zerfallen ſie in zwei Klaſ-

ſen. Bei einigen wird der ungewöhnlich gebrochene Strahl, wenn er aus der Einfallsebene heraustritt, gegen die Axe hin, bei anderen von derſelben weggetrieben; erſtere heißen anziehende oder poſitive, letztere abſtoßende oder negative. Zu jenem gehört der Bergkryſtall, zu dieſem der Doppelſpath.

105. Bei Kryſtallen mit zwei Axen ſind die Geſetze der Brechung viel complicirter; es gibt in denſelben im Allgemeinen keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, ſondern jeder befolgt Geſetze, die von den in 32 u. 101 aufgezählten abweichen. Es ſei Fig. 221 ein zweiaxiger, doppelt brechender Körper, *A* der Einfallspunct für einen Lichtſtrahl, und *AB*, *AC* die zwei Brechungsaxen, welche in der Ebene des Papiers liegen. Man ziehe die Linie *Ax* in der Ebene der Axen ſo, daß ſie den Winkel *BAC* halbirt, welchen die Axen einſchließen. Iſt nun die Einfallsebene ſenkrecht auf *Ax*, ſo richtet ſich einer der zwei Strahlentheile *a*, in welche der einfallende Strahl getheilt wird, nach den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen, der andere *b* hingegen nach eigenen Geſetzen; ſteht aber die Einfallsebene auf der Ebene der zwei Axen ſenkrecht und geht durch *Ax*, ſo erleidet *b* die gewöhnliche, *a* die ungewöhnliche Brechung; liegt endlich die Einfallsebene in der Ebene der zwei Axen, ſo erleidet wieder *a* die gewöhnliche, *b* die ungewöhnliche Brechung. Daß ein Strahl, der entweder mit *AB* oder mit *AC* parallel iſt, keine doppelte Brechung erleide, iſt für ſich klar.

106. Außer den kryſtalliſirten Körpern bringt auch nach Fresnel's Erfahrungen Glas, das nach einer Seite zuſammengedrückt iſt, Erſcheinungen der doppelten Brechung hervor. Ein vierſeitiges, rechtwinkeliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelſt einer kleinen eiſernen Preſſe nur mäßig zuſammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelſpitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus 9 Stücken zuſammengeſetzten und comprimirten Glasprisma, auf das er einen Lichtſtrahl leitete, zwei Bilder, die in der Diſtanz eines Meters um $1\frac{1}{2}$ Millimeter von einander abſtanden.

Da ähnliche Erſcheinungen immer einen ähnlichen Grund vorausſetzen und beim comprimirten Glaſe die Urſache der doppelten Brechung offenbar darin liegt, daß der einfallende Strahl nicht ſymmetriſch von Materie umgeben iſt; ſo kann man wohl annehmen, daß in allen Kryſtallen, welche das Licht doppelt brechen, dasſelbe Statt finde und daß daher bei ihnen, ſie mögen eine oder zwei Bre-

chungsaxen beſitzen, dieſe Axen die einzigen Linien ſeyen, um welche die Materie des Kryſtalls ſymmetriſch angeordnet iſt. (Brewſter in Pogg. Ann. 19. 527.)

107. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weiſe ein dreiſeitiges Prisma ſchleifen läßt und einen Lichtſtrahl durchleitet; ſo wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben auf vollkommen gleiche Weiſe angeordnet ſind und in welchen man auch die dunklen Linien (46) bemerken kann. Dieſe bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe des Brechungsexponenten für verſchiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerſtreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Verſuche dieſer Art haben gelehrt, daß die Farbenzerſtreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung geſpalten wird, dieſelbe Größe habe und daß das Verhältniß dieſe Zerſtreuung desſelben Strahls in beiden Farbenbildern in verſchiedenen Kryſtallen verſchieden ſey. (Pogg. Ann. 14. 45.)

108. Stellt man zwei Doppelſpathe ſo über einander, daß ihre Hauptſchnitte mit einander parallel ſind, ſo wird jener Theil eines einfallenden Lichtſtrahles, welcher im erſten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen, und derjenige, welcher im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet ſie auch im zweiten. Man ſieht daher durch beide Doppelſpathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenſtandes. Stehen die Hauptſchnitte beider Kryſtalle auf einander ſenkrecht, ſo erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man ſieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder anderen Lage der beiden Hauptſchnitte gegen einander wird ſowohl der im erſten Kryſtalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man ſieht daher vier Bilder. Dieſe haben eine gleiche Intenſität, wenn die beiden Hauptſchnitte um 45° gegen einander geneigt ſind; bei jeder anderen Neigung der Hauptſchnitte gegen einander iſt ihre Intenſität verſchieden. Hieraus erſieht man, daß ein Lichtſtrahl in einem Doppelſpathe nebſt der doppelten Brechung noch eine andere Modification erleide, die ſich nicht auf ſeine Richtung, ſondern auf ſeine Seiten bezieht; denn die durch doppelte Brechung von einander getrennten Strahlenbüſchel

haben offenbar nicht mehr ringsum dieſelbe Eigenſchaft, weil ſie bald die gewöhnliche, bald die ungewöhnliche Brechung erleiden, je nachdem ſie die eine oder die andere Seite dem Hauptſchnitte zuwenden, auch liegen die mit derſelben Eigenſchaft begabten Seiten des ungewöhnlich und des gewöhnlich gebrochenen Strahles nicht nach derſelben Gegend hin, ſondern ſind unter einem rechten Winkel gegen einander geneigt. Dieſe Eigenſchaft der Lichtſtrahlen hat Malus die Polariſation eines Lichtſtrahles und einen damit verſehenen Strahl einen polariſirten Strahl genannt.

109. Malus hat gezeigt, daß ein Lichtſtrahl nicht blos beim Durchgange durch einen Doppelſpath polariſirt werde, ſondern auch, wenn er von gewiſſen Körpern unter einem beſtimmten Winkel reflectirt oder durchgelaſſen wird. Läßt man z. B. einen Lichtſtrahl von Luft auf Glas unter einem Winkel von 54° 35′ gegen das Einfallsloth oder 35° 25′ gegen die Ebene des Glaſes fallen und den reflectirten Antheil durch einen Doppelſpath gehen; ſo lehrt die Erfahrung, daß er nur die gewöhnliche Brechung erleidet, wenn der Hauptſchnitt des Kryſtalls mit der Reflexionsebene parallel iſt, hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptſchnitt auf der Reflexionsebene ſenkrecht ſteht. In jeder anderen Lage des Hauptſchnittes gegen die Reflexionsebene erleidet der Strahl die doppelte Brechung, aber die beiden Strahlenbüſchel ſind nur dann gleich intenſiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt ſind. Macht man dieſen Verſuch mit den unter dem Einfallswinkel 35° 25′ durch dickes Glas geleiteten alſo gebrochenen Theil des auffallenden Lichtſtrahls; ſo bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterſchiede, daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weiſe, wenn dieſe Ebenen mit einander parallel ſind. Es erlangt daher der reflectirte Strahl die Eigenſchaft des gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüſchel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt wird, ſind eben ſo polariſirt, wie die beiden durch doppelte Brechung entſtandenen.

110. Man kann dieſen Verſuch auch umgekehrt anſtellen und ſtatt den von Glas reflectirten oder gebrochenen und dadurch polariſirten Strahl auf einen Doppelſpath zu leiten und ſeine Polariſation zu prüfen, den ſchon in einem Doppelſpath in zwei Bündel

getheilten Strahl auf eine Glastafel auffallen laſſen. In dieſem Falle iſt es gut, wenn man ein achromatiſirtes Doppelſpathprisma anwendet, in welchem die zwei Strahlenbüſchel ſo ſtark divergirend gemacht werden, daß man jedes einzelne auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 35′ fallen; ſo wird er vollſtändig reflectirt, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptſchnitte des Kryſtalls parallel iſt, hingegen vollſtändig durchgelaſſen oder (falls das Glas geſchwärzt iſt) abſorbirt, wenn dieſe beiden Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Bei jeder anderen Neigung dieſer Ebenen gegen einander erfolgt eine theilweiſe Reflexion und eine theilweiſe Transmiſſion oder Abſorption. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieſer wird vollſtändig durchgelaſſen oder abſorbirt, wenn die beiden obengenannten Ebenen mit einander parallel ſind, hingegen reflectirt, wenn ſie auf einander ſenkrecht ſtehen.

111. Es erübriget jetzt nur noch mehr, den durch Reflexion oder einfache Brechung polariſirten Strahl auch durch Glas zu prüfen. Der Erfolg iſt aus dem Vorhergehenden leicht vorauszuſehen. Der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden iſt und unter demſelben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, wird vollſtändig reflectirt, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläſern mit einander parallel ſind, hingegen durchgelaſſen oder abſorbirt, wenn ſie auf einander ſenkrecht ſtehen; in jeder Zwiſchenlage wird er zum Theile reflectirt, zum Theile gebrochen oder abſorbirt. Das Gegentheil wird bei einem durch Brechung polariſirten Strahle erfolgen. Es iſt daher klar, daß ſich ein polariſirter Strahl, er mag durch doppelte oder einfache Brechung oder durch Reflexion polariſirt worden ſeyn, unter gewiſſen Umſtänden der Brechung, der Transmiſſion und der Reflexion entziehe.

112. Um dieſe Phänomene der Polariſation nebſt den noch ſpäter abzuhandelnden bequem darſtellen zu können, muß man eine beſondere Vorrichtung, nämlich ein Polariſationsinſtrument haben. Sehr bequem iſt folgendes: Auf einem horizontalen Brete *AB* (Fig. 222) befindet ſich ein geſchwärzter ebener Glasſpiegel *C*, der gegen den Horizont um 54° 35′ geneigt iſt und zur Polariſation des Lichtes dient. Er erhält durch einen anderen Planſpiegel *D* Licht. Über jenem iſt an einem verticalen Träger *E* eine Röhre *F* angebracht, welche zur Aufnahme der Apparate be-

ſtimmt iſt, durch die man die Eigenſchaften des polariſirten Lichtes unterſucht. Dieſe ſind ein Doppelſpath, ein ſchwarzer Planſpiegel aus Glas und eine Anzahl über einander liegender ebener Glasplatten oder polirte Metallplatten. Sowohl der Spiegel als die Platten paſſen in eine eigene Rahme *G*, die zwiſchen zwei metallenen Armen beweglich angebracht und an einem Ringe befeſtiget ſind, der ſich in die Röhre *F* einſchieben und um die Axe derſelben drehen läßt. Der Doppelſpath iſt in Form eines dreiſeitigen Prisma's, das durch ein Glasprisma achromatiſirt iſt, geſchnitten und in einem durchlöcherten Deckel befeſtiget, der auf das obere Ende der Röhre eben ſo paßt wie der vorher genannte Ring. Zu einem beſonderen Gebrauche iſt zwiſchen der Röhre und dem Spiegel *C* ein horizontaler, durchbrochener Tiſch *H* angebracht, der ſich um eine verticale Axe drehen läßt; auch kann man das untere Ende der Röhre mittelſt eines paſſenden durchlöcherten Deckels ſchließen. (Seebeck's Apparat in Zeitſch. 2. 451.)

113. Leitet man von einem gegenüberſtehenden Gegenſtande parallele Strahlen auf den Spiegel *C*, ſo werden ſie vollkommen polariſirt und fallen ſo auf den Spiegel der Rahme *G*. Iſt dieſer unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation gegen den einfallenden Strahl geneigt und ſo geſtellt, daß die Einfallsebene mit der auf *C* parallel iſt; ſo ſieht man den Gegenſtand, der das Licht auf den Polariſationsſpiegel ſendet, oder die Öffnung des unteren Deckels der Röhre, im reflectirten Lichte. Dreht man nun den Spiegel mit der Rahme *G* um die Axe der Röhre, ohne ſeine Neigung gegen den einfallenden Strahl zu ändern; ſo wird der vorhin im reflectirten Lichte deutlich erſchienene Gegenſtand immer dunkler und verſchwindet endlich ganz, wenn man den Spiegel um 90° gedreht hat, in welchem Falle ſeine Einfallsebene auf der von *C* ſenkrecht ſteht. Fährt man fort, den Spiegel nach derſelben Richtung zu drehen; ſo nimmt die Menge des reflectirten Lichtes wieder zu, der Gegenſtand erſcheint immer deutlicher, bis er nach einer Drehung von abermals 90°, wo beide Einfallsebenen wieder mit einander parallel ſind, ſeine erſte Lichtſtärke wieder erhält und daher alles Licht reflectirt wird. Bei fortgeſetztem Drehen um neue 90°, tritt wieder der erſte, bei fernerem der zweite Fall ein ſo, daß während einer vollen Umdrehung die Menge des reflectirten Lichtes zweimal ihr Maximum erreicht und eben ſo oft $=0$ wird. Nimmt man ſtatt des Spiegels in der Rahme *G* Glasplatten, ſo iſt der Erfolg

derſelbe, wie vorhin, nur wird man bemerken, daß das Licht, welches ſich der Reflexion entzieht, durchgelaſſen wird, ſo daß der Gegenſtand im durchgelaſſenen Lichte am hellſten erſcheint, wenn die Reflexionsebene in *C* mit der in den Gläſern der Rahme *G* einen rechten Winkel einſchließt, hingegen am dunkelſten, wenn dieſe beiden Ebenen mit einander parallel ſind; auch wird die Menge des durchgelaſſenen Lichtes während einer vollen Umdrehung der Gläſer zweimal ihr Maximum und zweimal ihr Minimum erlangen. Wenn die Gläſer ſo ſtehen, daß ſie das wenigſte Licht durchlaſſen, und man ändert den Einfallswinkel des Lichtes durch Neigen der Rahme *G*; ſo wird die durchgelaſſene Lichtmenge alſogleich größer. Am größten wird man ſie finden, wenn die Strahlen ſenkrecht auffallen. Erſetzt man endlich die Rahme *G* durch den mit dem Doppelſpathprisma verſehenen Deckel, ſo ſieht man die Öffnung des unteren Deckels durch den Doppelſpath nur einfach, ſobald die Reflexionsebene des Lichtes im Polariſationsſpiegel mit dem Hauptſchnitte des Doppelſpathes parallel iſt. Dreht man den Deckel und hebt ſo dieſen Parallelismus auf, ſo erſcheint alſogleich das Bild der Deckelöffnung doppelt, aber die zwei Bilder haben eine ſehr ungleiche Intenſität. So wie man aber mit dem Drehen fortfährt, wächſt die Intenſität des ſchwächeren Bildes zuſehends und die des ſtärkeren nimmt ab, bis beide einander gleich ſind, welches dann erfolgt, wenn die Polariſationsebene gegen den Hauptſchnitt um 45° geneigt iſt. So wie man dieſe Neigung vergrößert, wird das vorhin ſchwächere Bild das intenſivere und umgekehrt, bis erſteres ganz verſchwindet und man wieder nur ein Bild ſieht, aber nicht daſſelbe, wie im vorhergehenden Falle. Dieſes tritt ein, wenn die Reflexionsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht. Bei fernerem Drehen des Doppelſpathes beginnt die ganze Reihe dieſer Erſcheinungen wieder von Neuem, ſo daß ſie bei einer vollen Umdrehung viermal und zwar zweimal in derſelben, zweimal in umgekehrter Ordnung eintreten. Alle dieſe Erſcheinungen zeigen ſich am beſten bei bewölktem Himmel. Bei heiterem Himmel iſt das Licht gewöhnlich, beſonders an ſonſt hellen Orten, zu ſtark.

114. Was bisher von den Eigenſchaften des durch einen Doppelſpath gebrochenen Lichtſtrahles geſagt wurde, gilt auch von jedem ſolchen, der durch einen anderen doppelt brechenden Kryſtall oder durch gepreßtes Glas gegangen und in zwei deutlich unterſcheidbare Büſchel zerlegt worden iſt. Ja ſelbſt in Kryſtallen, welche einen

24 *

Lichtſtrahl nicht in zwei ſo ſtark divergirende Büſchel zertheilen, findet daſſelbe Statt. Um dieſes darzuthun, gebe man den Spiegeln im Polariſationsinſtrumente eine ſolche Stellung, daß der zweite das von einem fernen Gegenſtande auf den erſten geſandte Licht nicht reflectirt. Hält man einen nicht gar zu dicken Kryſtall mit doppelter Brechung, z. B. ein Glimmerplättchen, in den polariſirten Strahl; ſo wird immer bei einer beſtimmten Lage des Plättchens der genannte Gegenſtand im zweiten Spiegel recht deutlich erſcheinen, zum Beweiſe, daß dadurch das Licht entpolariſirt, d. i. nach entgegengeſetzter Richtung polariſirt worden ſey. Dreht man nun den einen Spiegel des Polariſationsinſtrumentes um 90°, ſo daß der zweite das polariſirte Licht reflectirt; ſo gibt es auch hier eine Lage des Plättchens, bei der es den durchgehenden polariſirten Strahl ſo abändert, daß er im zweiten Spiegel nicht mehr reflectirt wird. Auch die Glasplatte, von welcher vorher die Rede war, läßt ſich mit demſelben Erfolge durch andere Körper erſetzen.

Nach Fraunhofer erſcheinen auch einige durch Beugung entſtandene Spectra vollkommen polariſirt, während andere in ihrem unpolariſirten Zuſtande bleiben. Dieſer Gegenſtand muß aber erſt noch näher erörtert werden, doch verſpricht er viel Aufklärung über Polariſation.

115. Eine Glasplatte polariſirt einen Lichtſtrahl durch Reflexion vollkommen und daſſelbe thun auch viele andere durchſichtige Körper, deren Brechungsvermögen nicht gar groß iſt, wie z. B. Waſſer, ja ſogar einige undurchſichtige, wie Marmor. Durch Brechung polariſirt ihn nur eine aus mehreren Platten beſtehende Säule eines Körpers vollkommen. Indeß erfolgt bei allen dieſen Körpern die vollkommene Polariſation nur bei einem beſtimmten Einfallswinkel, den man den Winkel der vollkommenen Polariſation nennt. Dieſer Winkel hängt vom Brechungsvermögen des polariſirenden Körpers und des Mittels ab, von dem das Licht darauf fällt; er iſt für den reflectirten und gebrochenen Strahl von einerlei Größe und nach Brewſter demjenigen gleich, unter welchem das Licht auffallen muß, damit der reflectirte Theil auf dem gebrochenen ſenkrecht ſtehe. Daß er für verſchiedenfarbige Strahlen einen verſchiedenen Werth haben müſſe, folgt daraus nothwendig. Außer dieſem Winkel wird aber das Licht nur zum Theile, d. h. unvollkommen polariſirt; ſenkrecht auffallende Strahlen verbleiben

aber in ihrem natürlichen Zuſtande, ſie mögen reflectirt oder durchgelaſſen werden.

Körper mit ſehr großem Brechungsvermögen, wie z. B. Metalle, polariſiren das Licht unter keinem Winkel vollkommen; denn ein von denſelben reflectirter oder durchgelaſſener Strahl gibt mittelſt eines Doppelſpathes bei jeder Lage des Hauptſchnittes gegen die Reflexions- oder Brechungsebene zwei Bilder und nur aus ihrer ungleichen Intenſität bei jener Stellung des Doppelſpathes, wo der Hauptſchnitt um 45° gegen die Einfallsebene des Lichtes geneigt iſt, erkennt man, daß man es nicht mit völlig unpolariſirtem Lichte zu thun habe. Es gibt aber auch bei ſolchen Körpern einen Winkel, bei welchem das Licht am ſtärkſten, wenn auch nicht vollkommen, polariſirt wird. Da alle durchſichtigen und ſehr viele undurchſichtige Körper das Licht zu polariſiren vermögen, ſo darf man ſich nicht wundern, daß das meiſte Licht ſchon ohne unſer Zuthun polariſirt zu uns komme. Das uns vom heiteren Himmel oder von Wolken zugeſendete, das ſchief durch unſere Fenſtergläſer gehende, das von Mauern, Käſten ꝛc. reflectirte Licht trägt ſchon deutliche Spuren der Polariſation an ſich; ſelbſt das Licht, welches brennende Körper ausſenden, fand Arago zum Theile polariſirt, wenn dieſe feſt oder tropfbar flüſſig waren, nur bei gasförmigen konnte er keine Spur einer Polariſation entdecken.

116. Es iſt aus dem Vorhergehenden klar, daß man zwei verſchiedene Polariſationszuſtände annehmen müſſe, die einander gerade entgegengeſetzt ſind. Unter den Umſtänden, unter welchen ein gewöhnlich gebrochener Strahl abermals die gewöhnliche Brechung erleidet oder von einem Spiegel reflectirt wird, erleidet der ungewöhnlich gebrochene wieder eine ungewöhnliche Brechung und wird von einem Spiegel durchgelaſſen oder abſorbirt und umgekehrt. Eben ſo ſtehen ſich ein durch Reflexion und ein durch Brechung polariſirter Strahl gegenüber. Man nennt dieſe beiden Polariſationszuſtände entgegengeſetzte Polariſation oder Polariſation unter einem rechten Winkel und ſagt: Die zwei durch doppelte Brechung in einem Kryſtalle oder im gepreßten Glaſe entſtandenen Strahlenbüſchel, oder der durch Reflexion und der durch Brechung polariſirte Antheil eines Strahls ſeyen nach entgegengeſetzten Richtungen oder unter einem rechten Winkel polariſirt. In einem Kryſtalle mit einer Axe der doppelten Brechung iſt der gewöhnlich gebrochene Strahl in der Ebene des Hauptſchnittes, der ungewöhnlich gebrochene in einer darauf ſenkrechten Ebene polariſirt. In einem Kryſtalle mit zwei ſolchen Axen iſt der gewöhnlich gebrochene Strahl in einer

Ebene, welche den Winkel der zwei Hauptſchnitte halbirt, polariſirt, der ungewöhnlich gebrochene aber in einer darauf ſenkrechten Ebene.

117. Einen unpolariſirten Strahl kann man füglich als ſolchen anſehen, der aus zwei unter 90° polariſirten Hälften beſteht; denn da ein unpolariſirter Strahl von einem Doppelſpathe in zwei unter 90° polariſirte Theile getheilt wird; ſo kann auch aus der Wiedervereinigung zweier ſolcher ein natürlicher Strahl hervorgehen. Einen unvollkommen polariſirten Strahl hat man lange als aus zwei Theilen beſtehend angenommen, aus einem vollkommen polariſirten und einem unpolariſirten, bis Brewſter zeigte, daß ſelbſt ein ſolcher Strahl in allen ſeinen Theilen verändert ſey und daß man ihn aus zwei Theilen beſtehend anſehen könne, die unter einem Winkel polariſirt ſind, welcher von 90° abweicht. Die Größe dieſes Winkels richtet ſich nach der Natur des den Strahl modificirenden Körpers und nach dem Einfallswinkel; derſelbe beträgt bei einem Strahle, der von Glas unter 80°, 70°, 50°, 40° reflectirt worden iſt, nach der Ordnung 66°, 44°, 18°, 45°; bei einem in Tafelglas unter dem Einfallswinkel 40°, 55°, 67°, 80° gebrochenen hat er die Größe von 95°, 100°, 106°, 118°. Verſuche hierüber werden ſo angeſtellt: Man leitet einen Lichtbüſchel, der durch ein achromatiſches Doppelſpathprisma gegangen und in zwei unter 90° polariſirte Theile getheilt worden iſt, unter einem beſtimmten, von dem der vollkommenen Polariſation abweichenden Winkel auf eine Glasplatte und fängt hierauf den durchgelaſſenen oder reflectirten Antheil mit einem zweiten Doppelſpathprisma auf, deſſen Hauptſchnitt mit der Einfallsebene des Lichtes auf das Glas parallel iſt. Dreht man nun den Hauptſchnitt, bis das eine oder das andere Bild völlig verſchwunden iſt, ſo erhält man den halben Winkel, unter welchem die Strahlen polariſirt ſind. Dieſe Verſuche zeigen deutlich, daß ſich die zwei Theile, in die ein Lichtſtrahl beim Übergange von einem Mittel ins andere getheilt wird, nämlich der gebrochene und der reflectirte, ſelbſt bei der partiellen Polariſation in einem verſchiedenen Polariſationszuſtande befinden, d. h. daß der gebrochene Antheil anders modificirt ſey als der reflectirte. Dem Vorhergehenden gemäß beſteht die Änderung eines Strahls durch den Act der Polariſation in einer Verrückung der Polariſationsebene der zwei polariſirten Hälften, aus denen er beſteht. Ein natürlicher, auf eine Glastafel auffallender Strahl hat die Polariſationsebene der einen Hälfte 45° rechts, die der anderen Hälfte

45° links von der Einfallsebene und nach der Polariſation haben alle ſeine Theile die Polariſationsebene in der Einfallsebene, es iſt daher eine Polariſationsebene um + 45°, die andere um — 45° gewendet worden. Beim Acte einer partiellen Polariſation erfahren die Polariſationsebenen der beiden Hälften des Strahls eine ähnliche Bewegung, nur beträgt ſie nicht wie vorhin, 45°, ſondern nach Umſtänden mehr oder weniger, und die Polariſationsebenen der zwei Strahlenhälften bewegen ſich nicht immer gegen einander, ſondern nach Umſtänden auch von einander. (Zeitſch. 8. 494. Pogg. Ann. 19. 259, 281.)

118. Fällt ein Strahl auf eine durchſichtige Platte ſchief auf, ſo beſteht ſowohl der durchgelaſſene als der reflectirte Antheil aus Licht, das verſchiedene Polariſationszuſtände hat, weil die Reflexion nicht blos an der erſten Fläche, ſondern auch an der Hinterfläche vor ſich geht und der reflectirte Strahl nicht blos ſolche Theile enthält, die an der erſten Fläche reflectirt werden, ſondern auch andere, die zwei Brechungen und eine Reflexion an der Hinterfläche erlitten haben; mit dem durchgelaſſenen iſt etwas Ähnliches der Fall. Da jede Brechung und jede ſchiefe Reflexion polariſirend wirkt und der durch Brechung erzeugte Polariſationszuſtand von dem durch Reflexion erzeugten verſchieden iſt; ſo muß daraus ein eigenthümlicher Zuſtand hervorgehen, der davon abhängt, ob die Wirkung der Brechung oder die der Reflexion das Übergewicht habe. Zur näheren Analyſe dieſer ſcheinbar ſehr complicirten Modification braucht man am beſten ein Glasprisma (Fig. 123), welches ſo geſchnitten iſt, daß der auf die Fläche *ab* ſchief einfallende Strahl *Sc* nach der Brechung in *c* und der Reflexion in *d* ſenkrecht aus *ac* austritt. Unterſucht man den Polariſationszuſtand des Strahles *dx* mittelſt eines Doppelſpathes und vergleicht ihn mit demjenigen, welchen er durch die Brechung in *c* erhalten haben muß: ſo erfährt man die Verſetzung ſeiner Polariſationsebene durch die Reflexion in *d*. Setzt man auf die Fläche *ae* ein Stück *age*, um das Prisma zu einem rechtwinkeligen Parallelepiped zu machen, unterſucht dann den austretenden Strahl *hy* neuerdings und vergleicht ſeinen Polariſationszuſtand mit dem vorhergehenden, ſo erfährt man auch den Einfluß der Brechung in *h*. Durch Unterſuchungen dieſer Art fand Brewſter folgendes Geſetz: Ein Lichtbüſchel, der nach zwei Brechungen und einer Reflexion an der Hinterfläche einer durchſichtigen Platte ins Auge kommt, enthält bei

jedem Einfallswinkel von 0° bis zu einer beſtimmten, vom Brechungsvermögen der Platte abhängigen Größe einen Antheil, welcher in der Reflexionsebene polariſirt iſt, und es hat daher bis zu dieſer Grenze die Reflexion das Übergewicht über die Brechung; bei dieſem Grenzwerthe des Einfallswinkels hat der Strahl ſeinen natürlichen Zuſtand und die Brechung hält der Reflexion das Gleichgewicht, über denſelben hinaus hingegen enthält der Strahl einen ſenkrecht auf die Polariſationsebene polariſirten Theil zum Beweiſe, daß da die Brechung mehr vermag als die Reflexion. Ähnlich verhält ſich ein Strahl nach einer Brechung und einer Reflexion, nur mit dem Unterſchiede, daß jener Grenzwinkel einen anderen Werth hat. (Zeitſch. 9.221; Pogg. Ann. 19.518.)

119. Polariſirte Strahlen wirken nicht unter allen Umſtänden ſo auf einander ein, wie unpolariſirte. Ihre Interferenzgeſetze ſind folgende: 1) Zwei Strahlen von demſelben Polariſationszuſtande interferiren ſich wie unpolariſirte. 2) Entgegengeſetzt polariſirte Strahlen interferiren ſich gar nicht und erlangen ihre Interferenzfähigkeit nicht mehr, wenn man ſie auf einerlei Polariſationszuſtand zurückführt. 3) Strahlen, die zuerſt nach einerlei Richtung polariſirt waren, hierauf einen einander entgegengeſetzten Polariſationszuſtand angenommen haben, und endlich wieder nach einerlei Richtung polariſirt wurden, interferiren ſich wieder. Hat man zwei ſolche Paare von Strahlenbüſcheln von entgegengeſetztem Polariſationszuſtande, ſo fällt das Reſultat der Interferenz für jedes Paar anders aus, wenn auch die Differenz der Wege oder Geſchwindigkeiten in beiden dieſelbe iſt, und zwar findet bei einem Paare eine Vermehrung des Lichtes Statt, wenn beim anderen eine Schwächung eintritt. (Siehe Suppl. S. 492 u. f.)

120. Körper, welche das Licht doppelt brechen und polariſiren, zeigen ſowohl im natürlichen aber insbeſondere im polariſirten Lichte merkwürdige Farbenerſcheinungen. Ein Würfel aus Dichroit erſcheint ſchon im natürlichen Lichte nach der Richtung der Brechungsaxe blau, in einer darauf ſenkrechten gelb, er abſorbirt daher in erſterer Richtung alles Licht bis auf Blau, in letzterer alles bis auf Gelblich. Ein Würfel aus Turmalin zeigt ſich gar in der Richtung der Axe völlig undurchſichtig, in einer darauf ſenkrechten Richtung hingegen in der dem Minerale ſonſt eigenthümlichen (grünen, braunen ꝛc.) Farbe; beſonders intereſſant ſind aber die Farbenphänomene, welche im polariſirten Lichte zum Vorſchein kommen. Wird

ein dünnes Glimmer- oder Gypsplättchen auf den Tiſch *H* des Polariſationsinſtrumentes ſo gelegt, daß polariſirtes Licht ſenkrecht durch dasſelbe geht und dann auf die Glasplatten *K* fällt; ſo ſieht man ſowohl in dem vom Glaſe reflectirten als im durchgelaſſenen Lichte das Plättchen farbig und zwar iſt die Farbe im reflectirten Lichte die complementäre von der im durchgelaſſenen. Dreht man das Plättchen um den durchgehenden Strahl wie um eine Axe, ſo ändert ſich nicht die Beſchaffenheit, wohl aber die Intenſität der Farbe und es gibt vier Stellungen des Plättchens, wo die Färbung am intenſivſten und vier andere, wo ſie am ſchwächſten (eigentlich $=0$) iſt, erſteres da, wo ſein Hauptſchnitt gegen die Polariſationsebene um 45° geneigt, letzteres da, wo er mit der Polariſationsebene parallel iſt oder darauf ſenkrecht ſteht. Dreht man hingegen bei ruhigem Stande des Plättchens die Rahme *G* mit den Glasplatten, ſo ändert ſich ſowohl die Farbe des durchgelaſſenen als die des reflectirten Lichtes und geht bei einer Drehung von 90° in die zur vorigen complementären über. Eine Änderung der Dicke des Plättchens bringt eine Änderung der Farbe hervor, doch kann dieſelbe Farbe bei verſchiedenen Dicken zum Vorſchein kommen und es verhalten ſich überhaupt die Dicken verſchiedener Plättchen derſelben Art, wie die Werthe von *c* in (86), welche ihren Farben entſprechen. Über eine große Dicke hinaus erſcheint kein Plättchen mehr farbig. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, ſo daß dieſes ſchief durch dasſelbe geht, ſo ändert ſich ebenfalls die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. — Läßt man das Licht, nachdem es durch das Plättchen gegangen iſt, ſtatt durch die Glasplatte *K* durch einen Doppelſpath gehen, ſo erleidet es durch die doppelte Brechung dieſelbe Modification auf einmal, die es in der Glasplatte durch Reflexion und Brechung erfahren, und man ſieht daher auf einmal zwei farbige Bilder, die an der Stelle, wo ſie ſich decken, weiß erſcheinen, zum Beweiſe, daß die Farben complementär ſind. Bei Verſuchen mit dem Doppelſpathe muß man die Röhre *F* des Polariſationsinſtrumentes unten mit einem Deckel ſchließen, der nur eine etwa 2—3 L. weite Öffnung hat, und dieſe Öffnung iſt es, welche man farbig ſieht.

Die Beſtändigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von beſtimmter Dicke im polariſirten Lichte und die mit der Neigung desſelben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwiſchenſtufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Conſtruction eines Far-

benmeſſers. Einenſolchen kann ſchon das Polariſationsinſtrument (Fig. 222) abgeben, wenn man den Tiſch *H* ſo einrichtet, daß man ihn unter verſchiedenen Winkeln gegen den durchgehenden Strahl neigen und den jedesmaligen Neigungswinkel meſſen kann. Stellt man das Glas *K* ſo, daß es kein Licht reflectirt, legt dann in den Tiſch *H* eine Anzahl von gleich dicken Glimmerplättchen und neigt ſie hierauf gegen den Strahl, bis in *K* die verlangte Farbe erſcheint; ſo kann man aus dem numeriſchen Werthe der Farbe, welche ein Plättchen im ſenkrecht einfallenden Lichte zeigt, aus dem Einfalls- und Brechungswinkel im Glimmer den numeriſchen Werth obiger Farbe angeben. (Biol's Naturlehre überſetzt von Fechner. B. 5. S. 228. Schweig. J. 62. 246.) — In die Reihe dieſer Farbenerſcheinungen gehören auch diejenigen, welche Kryſtalle im polariſirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angeſehen, auch zwei verſchiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietät dieſes Minerals ein dreiſeitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlenbüſchel hinreichend von einander getrennt erſcheinen, und läßt weißes polariſirtes Licht darauf fallen; ſo gehen blos blaue Strahlen durch, wenn die Axe des Kryſtalls auf der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes ſenkrecht ſteht, hingegen grünlich weiße, wenn die Axe mit dieſer Ebene parallel iſt. Dreht man das Prisma allmählig von der erſten Lage in die zweite, ſo geht auch das durchgelaſſene Licht ſucceſſiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewſter, dem wir die Kenntniß dieſer Erſcheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphir, Smaragd, Amethyſt, Turmalin ꝛc.

121. Die ſo hervortretenden Farbenphänomene ſind beſonders ſchön, wenn ein Kryſtallplättchen ſenkrecht oder doch nahe ſenkrecht auf die Axe der doppelten Brechung geſchnitten iſt und ein polariſirter convergirender Lichtkegel darauf fällt, deſſen Axe ſenkrecht durch das Plättchen geht. Leitet man auf ein ſolches gleichförmig dickes Plättchen *MN* (Fig. 224) aus Doppelſpath, einen convergirenden, polariſirten Strahlenkegel *ACB*, deſſen Axe *CD* mit der des Kryſtalls parallel iſt, und läßt ihn hierauf unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation auf eine Glasplatte einfallen, damit er durch ſie entweder reflectirt oder gebrochen werde; ſo ſieht man das Plättchen mit farbigen concentriſchen Ringen geziert, die den reflectirten Newton'ſchen Farbenringen ähnlich ſind, aber durch ein Kreuz unterbrochen erſcheinen. Dieſes Kreuz iſt rechtwinkelig und im reflectirten Lichte ſchwarz (Fig. 225. *a.*), wenn die Einfallsebene der Strahlen auf die Glasplatte mit der

Polariſationsebene parallel iſt; hingegen weiß (Fig. 225. *b.*), wenn jene Einfallsebene auf der Polariſationsebene ſenkrecht ſteht; im gebrochenen Lichte findet das Gegentheil Statt. Ähnliche Ringe bemerkt man an ſolchen Plättchen von anderen einaxigen Kryſtallen, z. B. von Beryll, Turmalin ꝛc., nur erſcheinen die Farben bei verſchiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen, von verſchiedener Größe und das Kreuz iſt bald mehr bald minder deutlich zu ſehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterſchwefelſaurem Kalk weicht die Farbenfolge von der bei Newton's Farbenringen ſtark ab. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Änderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinſte Mangel an Homogeneität offenbart ſich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demſelben Plättchen erſcheint ein Ring deſto größer, je weiter man das Auge vom Plättchen entfernt, je dünner die Platte iſt, und zwar wachſen die Quadrate der Ringdurchmeſſer verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Schief gegen die Axe der doppelten Brechung geſchnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen erſcheint das Phänomen dieſer Farbenringe ganz verſchieden. Iſt ein ſolches Plättchen ſenkrecht auf die Linie geſchnitten, welche den Winkel der beiden Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, ſo ſieht man die Ringe, wie Fig. 226, falls die beiden Axen einen ſehr kleinen Winkel einſchließen, ſo daß man ihre Pole zugleich im Geſichtsfelde hat und die urſprüngliche Polariſationsebene mit der Ebene der zwei Axen zuſammenfällt. Machen dieſe Axen einen größeren Winkel, wie z. B. bei Plättchen aus Salpeter, ſo erſcheinen die Ringe wie Fig. 226. *a.* zeigt, wenn die Polariſationsebene die vorher angegebene Lage hat; dreht man das Plättchen um $22\frac{1}{2}$: ſo nehmen die Ringe die Geſtalt (Fig. 226. *b.*), bei einer Drehung von 45° die Geſtalt (Fig. 226. *c.*) an, und dieſelben Veränderungen erleiden ſie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Kryſtallen, deren Axen einen gar großen Winkel einſchließen, wie z. B. aus Aragonit, erſcheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 226. *d.* darſtellt.

Um dieſe Erſcheinung rein hervorbringen und bequem beobachten zu können, leite man von einem nicht zu entfernten Gegenſtande Licht auf den Spiegel *C* des Polariſationsinſtrumentes, bringe das Kryſtallplättchen nahe an die Rahme *G*, ſo daß das Licht ſenkrecht

durchgehen kann, und ſehe durch die gehörig geſtellten Gläſer *K* auf das Plättchen herab. Noch leichter gelangt man zum Zweck, wenn man Turmalinplättchen, die parallel mit der Axe geſchnitten ſind, ſo legt, daß ihre Axen ſich durchkreuzen, das Plättchen zwiſchen ſie gibt, und den ganzen Apparat nahe ans Auge hält. Um das Phänomen vergrößert zu erhalten, kann man dieſe Vorrichtung auch, wie ein anderes Object, in ein Sonnenmicroſcop einſetzen, auf welches intenſives Sonnenlicht fällt und das Bild auf einer Tafel auffangen. Nach Marx laſſen ſich die Turmalinplatten auch durch Platten von Dichroit, welche man durch einen parallel mit der optiſchen Axe des Kryſtalles geführten Schnitt erhält, erſetzen.

122. Wenn man dieſe Erſcheinungen nach den bisher angegebenen Grundſätzen zu erklären ſucht, ſo ſieht man wohl ein, daß der polariſirte Strahl beim Durchgange durch ein Plättchen in zwei, unter rechten Winkeln polariſirte Theile zerlegt werden müſſe. Die Färbung dieſer Theile kann aber auf eine zweifache Weiſe entſtanden ſeyn; entweder dadurch, daß die farbigen Beſtandtheile des weißen Strahles im Kryſtalle ſucceſſiv ihren Polariſationszuſtand ändern, ſo daß z. B. der rothe Theil anders polariſirt iſt, als der grüne, oder daß durch doppelte Brechung im Plättchen der Strahl in zwei weiße Bündel geſpalten wird, die ſich aber nachher interferiren und dadurch erſt farbig erſcheinen. Für erſtere Meinung erklärte ſich Biot (*Traité de Physique etc. tom. IV. p.* 317 *e. s.*), und ſuchte die ganze Reihe der hierher gehörigen Erſcheinungen aus einer ſehr gekünſtelten Hypotheſe zu erklären, die er bewegliche Polariſation nennt, und nach welcher die Theile eines Lichtſtrahls während ihres Durchgangs durch Kryſtalle um ihren Schwerpunct Oscillationen machen. Die zweite Meinung nahm Fresnel in Schutz. Er zeigte die Unzulänglichkeit der Biot'ſchen Vorausſetzung und bewies, daß dieſe Phänomene aus der Interferenz des polariſirten Lichtes hervorgehen. Gehen nämlich parallele polariſirte Strahlen *Sa* (Fig. 227) durch das Kryſtallplättchen *A*, deſſen Hauptſchnitt mit der Polariſationsebene einen ſpitzigen Winkel macht, ſo wird jeder derſelben in zwei nach entgegengeſetzten Richtungen polariſirte Theile getheilt, wovon der eine mit *e*, der andere mit *o* bezeichnet werden mag. Unter dieſen Strahlen tritt keine Interferenz ein, weil die gleich polariſirten von einander getrennt und die zuſammenfallenden entgegengeſetzt polariſirt ſind. Fallen ſie aber auf einen Doppelſpath *B*, deſſen Hauptſchnitt gegen den des Plättchens *A* um weniger als 90° geneigt iſt, ſo erfolgt mit jedem

Strahle *o* und *e* wieder eine Theilung in zwei Theile *oo*, *oe* und *eo*, *ee*, von denen ſich ſowohl die Theile *oo* und *eo* als die Theile *oe* und *ee* interferiren können, indem ſie ſowohl einerlei Polariſationszuſtand haben, als auch zuſammenfallen. Sie geben (119) entgegengeſetzte Interferenzreſultate und daher complementäre Farben. Eben ſo geht es, wenn auf ein Plättchen ein convergirender Lichtkegel auffällt. Die Axe *DC* (Fig. 224) des Lichtkegels erleidet im Plättchen weder eine doppelte Brechung, noch eine Änderung ihres Polariſationszuſtandes; daher wird ſie von einem Glaſe *K* (Fig. 222), bei dem die Einfallsebene mit der urſprünglichen Polariſationsebene in *C* parallel iſt, reflectirt. Die wenig divergirenden, der Axe nahen Strahlen erleiden zwar ſchon eine doppelte Brechung, dieſe iſt aber zu gering, als daß ſie wahrgenommen werden könnte; daher ſieht das Auge hinter dem Glaſe *K* in der Mitte eine ſchwarze Scheibe. Die mehr convergirenden, von der Axe ferneren Strahlen werden im Plättchen in zwei Theile zerlegt, die unter einem rechten Winkel polariſirt ſind und zum Theile durch die Gläſer *K* gehen können. Zwei einander nahe Strahlen geben ſo vier Theile, wovon zwei und zwei einerlei Polariſationsrichtung haben und ſich daher interferiren können. Aber es heben ſich die auf gewöhnliche Art gebrochenen, homogenen Strahlen durch Interferenz auf, wenn ſich die auf ungewöhnliche Art gebrochenen dadurch addiren und umgekehrt; daher entſtehen durch die Interferenz zweier ſolcher Strahlenſyſteme zwei lichte Puncte mit complementären Farben, von denen aber nur einer ſeinem Polariſationszuſtande gemäß durch *K* gehen kann. Da aber alle gleichweit von der Axe entfernte Puncte dieſelbe Farbe haben müſſen (101), ſo entſteht ein farbiger Ring um die Axe des Lichtkegels, der von dem hinter dem Glaſe *K* ſtehenden Auge geſehen werden kann. Weil die Strahlen in einer auf der urſprünglichen Polariſationsrichtung ſenkrechten oder mit ihr parallelen Ebene vom Kryſtallplättchen keine Spaltung erleiden und ihren Polariſationszuſtand nicht ändern, ſo muß in dieſer Lage ein dunkles Kreuz erſcheinen. Daß dieſes bei einer Drehung der Gläſer in *G* um 90° in ein weißes übergehen müſſe, iſt für ſich klar. Falls in einem Plättchen die Axen der doppelten Brechung verſchiedenfarbiger Strahlen merklich gegen einander geneigt ſind, kann das Plättchen nur höchſtens auf einer derſelben ſenkrecht ſtehen und die zu dieſer Farbe gehörigen Ringe regelmäßig erzeugen, die anderen vermiſchen ſich mit dieſen und

bringen die vorhin bemerkte Abweichung der Farbenfolge von dem Newton'ſchen Geſetze hervor.

123. Der innige Zuſammenhang, welcher zwiſchen der doppelten Brechung und der Polariſation Statt findet, geſtattet häufig von einer auf die andere zu ſchließen. Um zu erfahren, ob ein kleines Stückchen eines Körpers, deſſen doppelte Brechung ſich durchaus nicht unmittelbar erkennen läßt, dieſelbe beſitze oder nicht, ſchließt man die Röhre *F* des Polariſationsinſtrumentes mit einem Deckel, der nur eine kleine Öffnung hat, und ſtellt den Spiegel in der Rahme *G* in den Winkel der vollkommenen Polariſation ſo, daß das durch die Deckelöffnung von dem Spiegel *C* darauf fallende Licht nicht reflectirt werde und man daher dieſe Öffnung im Spiegel nicht ſehe. Hält man den betreffenden Körper vor dieſe Öffnung und kann man eine Lage ausmitteln, bei der er im oberen Spiegel geſehen wird; ſo beſitzt dieſer die Eigenſchaft, das Licht doppelt zu brechen. Noch bequemer erreicht man dieſen Zweck, wenn man den zu unterſuchenden Körper zwiſchen zwei Turmalinplättchen gibt, die aus einem Kryſtalle, parallel mit deſſen Hauptaxe, geſchnitten und ſo gelegt ſind, daß die Axen der beiden Stücke einen rechten Winkel mit einander machen. Dieſe ſo gelegten Plättchen erſcheinen ganz undurchſichtig, ſo lange ſich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwiſchen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Subſtanz dazwiſchen kommt, ſo erſcheinen ſie augenblicklich durchſichtig oder wenigſtens durchſcheinend. Der Grund dieſer auffallenden Erſcheinung liegt in Folgendem: Ein dünnes Turmalinplättchen von der genannten Beſchaffenheit polariſirt das durchgelaſſene Licht nach der Richtung der Axe. Da ſich nun die Axen beider Plättchen kreuzen, ſo kann der im erſten Plättchen durchgelaſſene Strahl im zweiten nicht durchgelaſſen werden und beide zuſammen müſſen dunkel erſcheinen. Kommt ein Körper dazwiſchen, der das Licht doppelt bricht, ſo theilt er den vom erſten Plättchen kommenden Strahl (zwei Lagen ausgenommen) in zwei Theile, die nach entgegengeſetzten Richtungen polariſirt ſind, und von dieſen kann wenigſtens einer durch das zweite Plättchen gehen. — Will man unterſuchen, ob ein Strahl polariſirt ſey oder nicht, ſo leite man ihn durch einen Doppelſpath. Kann man beim Drehen desſelben eine Lage finden, wo nur ein Bild entſteht, ſo iſt der Strahl polariſirt; ja ſelbſt wenn man keine ſolche Lage ausfindig machen kann, und zwei Bilder entſtehen, ſo läßt ſich aus der

Gleichheit oder Verſchiedenheit ihrer Intenſität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polariſirt ſey. Ich habe die zur Entſtehung polariſirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützt, zu erforſchen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten, oder von leuchtenden Körpern verſchiedener Art ausgehenden Strahlen polariſirt ſeyen oder nicht. Ich bediene mich nämlich eines Turmalinplättchens, das parallel mit der Axe des Kryſtalls geſchnitten iſt, befeſtige daran ein ſenkrecht auf die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen, halte erſteres nahe vor das Auge, und ſehe, ob Farbenringe bemerklich ſind oder nicht. Finden dieſe Statt, ſo muß offenbar das einfallende Licht polariſirt ſeyn. Überhaupt ſind die Erſcheinungen, welche Kryſtallplättchen, die durch ſenkrecht auf die optiſche Axe geführte Schnitte entſtehen, im polariſirten Lichte gewähren, beſonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei ſolchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derſelben zu beſtimmen; denn die Ringe erſcheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Kryſtalls parallel iſt, und in ſolchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt ſind und demnach gegenſeitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpuncte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein ſolches Plättchen homogenes Licht, ſo erſcheinen offenbar nur die demſelben entſprechenden Ringe und auch die ihm entſprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage bei verſchiedenem homogenen Lichte; ſo lehrt die Erfahrung, daß an einigen Kryſtallen jedem farbigen Strahle eine beſondere Axe der doppelten Brechung entſpreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zuſammenfallen. Den Glauberit fand Brewſter gar für das violette Licht einaxig, für die übrigen Farben hingegen zweiaxig und es nimmt die Neigung dieſer Axen für verſchiedenfarbige Strahlen von Blau zum Roth ſtufenweiſe zu. Macht man ſolche Verſuche bei ſehr verſchiedenen Temperaturen, ſo findet man, daß auch durch die Temperaturänderung die Lage der Axe eine Änderung erleidet. Man überzeugt ſich, daß ſich die zwei Axen eines Gipsplättchens deſto mehr einander nähern, je höheren Temperaturen es ausgeſetzt iſt, bis ſie bei $73\frac{1}{2}$° R. zuſammenfallen und daß bei den zwei Axen eines Plättchens aus gelbem Topas das Gegentheil Statt finde. Man hat ſogar die feineren materiellen Unterſchiede vieler

Subſtanzen aus ihrer doppelt brechenden und polariſirenden Eigenſchaft zuerſt erkannt, wiewohl dieſe Unterſchiede ſo gering waren, daß man ſie bei chemiſchen Analyſen gar leicht überſehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optiſchen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abſtoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, dieſe Körper einer genaueren Unterſuchung zu unterwerfen, wobei ſich zeigte, daß ihrem beſonderen optiſchen Verhalten auch eine beſondere materielle Beſchaffenheit entſpreche. (Schweigg. 49. 167; Pogg. Ann. 17. 1; Zeitſch. 1. 30; 7. 81.)

124. Seebeck und Brewſter haben zuerſt gelehrt, wie man einen Körper, der im polariſirten Lichte keine Farbe zeigt, dahin bringen könne, daß er den vorerwähnten ähnliche Farbenphänomene hervorbringt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglaſe mit dem Rande an ſtark erhitztes Eiſen, bringt das Ganze über den Tiſch *H* des Polariſationsinſtrumentes und ſieht durch die Gläſer *K* darauf herab; ſo bemerkt man, daß in der Glasplatte parallele Streifen (Fig. 228) entſtehen, ſo wie ſich die Wärme durch ſie fortpflanzt. Die Farben dieſer Streifen befolgen dieſelbe Ordnung wie in Newton's Farbenringen und gehen alſogleich in die complementäre über, wenn man das Glas *K* um 90° in derſelben Neigung dreht oder ſie ſtatt im durchgelaſſenen, im reflectirten Lichte anſieht; ſie verlieren ſich aber ganz, wenn ſich die Wärme einmal gleichförmig in die ganze Platte verbreitet hat. Es iſt in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zuſammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, ſo erſcheinen in jedem Stücke die Farben abgeſondert wie in einem Ganzen, verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, ſo iſt es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Nimmt man einen Glascylinder und erwärmt ihn von der Axe aus, indem man z. B. in eine daſelbſt angebrachte Vertiefung heißes Queckſilber gießt; ſo bilden ſich concentriſche Farbenringe, mit einem rechtwinkeligen, dunklen Kreuze, wie Fig. 225 *a*. Dieſelben Erſcheinungen erfolgen, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eiſen anhält.

125. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte

keine beſondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Preſſe, drückt ihn mäßig zuſammen, hält ihn ins Polariſationsinſtrument und ſieht ihn durch das Glas *K* an; ſo bemerkt man eigene Farben, die mit der Stärke des Druckes ſich ändern, in die complementären übergehen, wenn man die Einfallsebene in *K* um 90° ändert, aber wieder verſchwinden, wenn der Druck nachläßt. Ähnliche Erſcheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glaſes zu Stande. Biegt man einen Glasſtreifen, ſo ſieht man ihn an der ſchmalen Seite im polariſirten Lichte mit parallelen Farbenſtreifen, die in der Mitte durch eine ſchwarze Linie verbunden ſind.

126. Alle dieſe Farbenerſcheinungen ſind nur vorübergehend. Man kann ſie aber bleibend machen, wenn man die durch ungleichförmige Erwärmung oder durch Druck hervorgebrachte ungleiche Anordnung der Theile eines Körpers zu fixiren weiß. Dieſes geſchieht, wenn man heißes Glas ſchnell abkühlt. Bringt man dieſes nach der Hand in polariſirtes Licht, wie die vorhin betrachteten Körper, ſo erſcheint es mit beſonderen farbigen Zeichnungen, deren Beſchaffenheit von der Geſtalt des Glaskörpers, von deſſen ſchnellerem oder langſameren Abkühlen und von der Stellung gegen die Polariſationsebene abhängt. Iſt dieſer Körper ein Würfel und iſt er ſo ins Polariſationsinſtrument (auf den Tiſch *H*) geſtellt, daß eine ſeiner Seitenflächen mit der Polariſationsebene in *C* parallel iſt, während auch die Einfallsebene in *K* mit der in *C* zuſammenfällt; ſo ſieht man im durchgelaſſenen Lichte an den vier Ecken farbige Zeichnungen, wie Pfauenaugen, zwiſchen ihnen ein dunkles Kreuz, und nicht ſelten um dieſes noch allerlei ſymmetriſch angeordnete, farbige Einfaſſungen (Fig. 228. *a*). Dreht man die Gläſer in *G* um 90°, oder ſieht man den Würfel im reflectirten Lichte an, ſo bemerkt man dieſelbe Zeichnung mit complementären Farben; ſie geht aber in eine andere recht gefällige Form über, wenn man den Würfel allein dreht, ohne das übrige zu ändern. Mehrere ſchnell gekühlte, über einander gelegte, quadratiſche Glasplatten vertreten einen maſſiven Würfel vollkommen. Schleift man einen Würfel ſo, daß er die Geſtalt Fig. 228. *b* bekommt, ſo zeigt er auch die daſelbſt abgebildete Zeichnung. Eine länglichte Glasplatte gibt die Fig. 228. *c*, ein Cylinder die Fig. 225. *a*. Ähnliche Erſcheinungen bemerkte Seebeck an ſchnell entſtandenen Kryſtallen von Borax, Kochſalz, in Gummiſtücken und in thieriſchen Subſtanzen, ja ſelbſt im Diamante will ſie Brewſter geſehen haben.

127. Das polariſirte Licht erleidet durch Reflexion an einer polirten Metallplatte eine beſondere Modification. Wird nämlich ein polariſirter Strahl von einer polirten Stahlplatte unter einem Winkel von 75° reflectirt, in einer Ebene, die um 45° gegen die Polariſationsebene geneigt iſt; ſo erſcheint derſelbe nicht mehr polariſirt, denn er gibt mittelſt eines Doppelſpathprisma's bei jeder Stellung des Hauptſchnittes gegen die Einfallsebene zwei Bilder, er iſt auch kein natürlicher (unpolariſirter) Strahl, denn er erſcheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75° bei einer beſtimmten Lage der Reflexionsebene vollkommen polariſirt. Brewſter, der dieſe Eigenthümlichkeit zuerſt bemerkte, nennt dieſen Strahl elliptiſch polariſirt, im Gegenſatze mit einem auf gewöhnliche Weiſe polariſirten, der geradlinig polariſirt heißt. Jene Wiederherſtellbarkeit des urſprünglichen Polariſationszuſtandes durch eine neue Reflexion macht den Hauptcharacter eines elliptiſch polariſirten Strahles aus.

128. Damit ein polariſirter Strahl vollkommen elliptiſch polariſirt werde, muß er von einem reguliniſchen oder vererzten Metalle bei einer beſtimmten Stellung der Einfallsebene gegen die Polariſationsebene unter einem gewiſſen Winkel reflectirt werden, der wie jener in 115 erwähnte, Winkel der vollkommenen Polariſation genannt werden kann. Iſt die Reflexionsebene mit der urſprünglichen Polariſationsebene weder parallel noch auf ihr ſenkrecht, ſo tritt ſchon eine polariſirende Wirkung ein, aber vollkommen entwickelt iſt die elliptiſche Polariſation erſt, wenn die Neigung dieſer zwei Ebenen 45°, 135°, 225° oder 315° beträgt. Bei einer Veränderung dieſes Winkels von 0° — 360° erreicht ſie viermal ihre vollkommenſte Entwickelung, wird viermal = 0 und nimmt eben ſo oft ab und zu. Der Winkel der vollkommenen Polariſation hängt von der Natur des reflectirenden Körpers ab und beträgt z. B. für Stahl 75°, für Silber 73°. Erfolgt die Reflexion unter einem anderen Winkel, ſo tritt nur eine partielle elliptiſche Polariſation ein.

129. Zur Wiederherſtellung des urſprünglichen geradlinigen Polariſationszuſtandes eines elliptiſch polariſirten Strahls durch Reflexion gehört ein gewiſſes Verhältniß zwiſchen dem Einfallswinkel α dieſes Strahls auf die wiederherſtellende Metallplatte und dem Neigungswinkel φ der Einfallsebene auf dieſe Platte gegen die urſprüngliche Polariſationsebene. So iſt z. B. bei Stahl für $\varphi = 45°, 135°, 225°, 315°, \alpha = 75°$; für $\varphi = 0°$ oder 180°

iſt $\alpha = 80°$, aber für $\varphi = 90°$ oder $270°$ iſt $\alpha = 70°$. Überhaupt laſſen ſich die Complemente von α als Radien einer Ellipſe betrachten, deren große Axe um 75° rechts von der Ebene der erſten Reflexion liegt, und denen die Werthe von φ als Polwinkel, von der kleinen Axe der Ellipſe an gerechnet, entſprechen. Darum heißt auch dieſe Polariſation die elliptiſche. Dieſe Ellipſe, welche die Relation zwiſchen α und φ darſtellt, hat für verſchiedene Metalle eine verſchiedene Geſtalt. So z. B. iſt das Verhältniß ihrer Axen bei Stahl 12:22, bei Silber 17:17¼. Iſt der Einfallswinkel auf die elliptiſch polariſirende Platte größer oder kleiner als jener der vollkommenen elliptiſchen Polariſation, ſo hat ſelbſt bei demſelben Metalle die Ellipſe eine andere Geſtalt und Lage. So z. B. iſt für einen Einfallswinkel von 80° auf Silber das Verhältniß der Axen der Ellipſe nicht mehr wie vorhin 17:17¼, ſondern 10:28 und die größere Axe liegt in der Ebene der erſten Reflexion; bei einem Einfallswinkel von 68° iſt jenes Axenverhältniß 13 : 20 und die große Axe ſteht auf der Ebene der erſten Reflexion ſenkrecht.

130. Die Lage der Polariſationsebene des von der elliptiſchen auf die geradlinige Polariſation wieder zurückgeführten Strahles richtet ſich nach der Natur des reflectirenden Körpers und dem Werthe von φ (129). Die Neigung ψ jener Polariſationsebene gegen die Reflexionsebene iſt für $\varphi = 45°$ bei Silber 39° 48′, für Kupfer 29°, für Queckſilber 26°, für Platin 22°, für Stahl 17°, für Blei 11°, für Eiſenglanz $= 0$, überhaupt ſtets kleiner als 45°. Wird φ größer als 45°, ſo entfernt ſich die Polariſationsebene des wiederhergeſtellten Strahls von der Reflexionsebene (d. h. es wächſt ψ), während das Gegentheil Statt hat, wenn φ kleiner als 45° wird. Für $\varphi = 0°$ wird $\psi = 0°$, für $\varphi = 90°$ hingegen iſt $\psi = 180°$. Es iſt klar, daß ein Strahl, der durch eine Reflexion elliptiſch, durch eine zweite wieder geradlinig polariſirt worden iſt, unter den gehörigen Bedingungen durch eine dritte Reflexion wieder elliptiſch, durch eine vierte abermals geradlinig polariſirt werden müſſe u. ſ. f.; es nimmt aber ψ mit jeder neuen Wiederherſtellung des geradlinig polariſirten Zuſtandes ab und wird zuletzt $= 0$, in welchem Falle alles Licht in der urſprünglichen Polariſationsebene polariſirt erſcheint.

131. Natürliches Licht läßt ſich als ſolches anſehen, das aus zwei unter einem rechten Winkel polariſirten Hälften beſteht, für deren eine $\varphi = +45°$, für die andere aber $\varphi = -45°$ iſt. Fällt

ein ſolches Licht unter dem Winkel der vollkommenen elliptiſchen Polariſation hinter einander auf Metallplatten auf, ſo erhält man nach zwei Reflexionen zwei Strahlen, die geradlinig und entgegengeſetzt polariſirt ſind, deren Polariſationsebenen mit der Reflexionsebene kleinere Winkel machen als 45°, der Strahl iſt daher zum Theile oder unvollkommen polariſirt (115). Nach zwei neuen Reflexionen erhält man zwei Hälften, deren Polariſationsebenen einander noch näher liegen, bis ſie endlich nach einer gewiſſen Anzahl von Reflexionen in ihren Polariſationsrichtungen zuſammenfallen und daher das Licht vollkommen geradlinig polariſirt iſt. Auf ſolche Weiſe kommt es, daß ein Körper, der bei einer Reflexion einen Strahl durchaus nicht vollkommen zu polariſiren vermag, dieſes durch mehrere Reflexionen zu leiſten im Stande ſey. So polariſirt Stahl unter 75° durch acht Reflexionen, Silber unter 73° noch nicht durch ſechs und dreißig Reflexionen. Daß bei ſo oft wiederholten Reflexionen verſchiedene Farben zum Vorſchein kommen, rührt davon her, daß der Winkel der vollkommenen elliptiſchen Polariſation für verſchiedenfarbige Strahlen einen verſchiedenen Werth hat.

132. Eine mit den bisher beſprochenen verwandte Modification erleidet ein geradlinig polariſirter Strahl, wenn er in einem Glasprisma von der Form *abcd* (Fig. 229) zwei totale Reflexionen erfährt in einer Ebene, die gegen die Polariſationsebene um 45° geneigt iſt. Ein ſolcher Strahl iſt nicht mehr geradlinig polariſirt, denn er gibt mittelſt eines Doppelſpathes bei jeder Stellung ſeines Hauptſchnittes gegen die Polariſationsebene zwei Bilder, er iſt aber auch kein natürlicher Strahl, denn läßt man ihn abermals zwei totale Reflexionen erleiden, ſo erſcheint er wieder vollkommen geradlinig polariſirt. Fresnel nennt einen ſolchen Strahl circular polariſirt. Er hat mit einem elliptiſch polariſirten gemein, daß er durch eine wiederholte Reflexion in den geradlinigen Polariſationszuſtand zurückgeführt wird, unterſcheidet ſich aber von demſelben dadurch, daß dieſe Wiederherſtellung bei jeder Neigung φ der zweiten Reflexionsebene gegen die urſprüngliche Polariſationsebene Statt findet und die Polariſationsebene des wiederhergeſtellten Strahls ſtets gegen die urſprüngliche Polariſationsebene um — 45° geneigt iſt. Eine krumme Linie, welche die Werthe von φ zu Polwinkeln, die Reflexionswinkel zu Radien hat, muß wegen des beſtändigen Werthes der letzteren offenbar ein Kreis

ſeyn, und dieſes rechtfertiget auch, unabhängig von jeder weiteren Hypotheſe, die obige Benennung.

133. Ein circular polariſirter Strahl wird nicht blos durch fernere totale Reflexionen in Glas, ſondern auch durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polariſationszuſtand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei dieſen Metallflächen kleiner ſind als der Winkel der vollkommen elliptiſchen Polariſation und alle Reflexionsebenen einander parallel ſind. Es werden daher Reflexionen in Glas durch Reflexionen an Metall vertreten. Der Neigungswinkel der neuen Polariſationsebene gegen die urſprüngliche iſt immer das arithmetiſche Mittel aus den zwei Wirkungen, derjenigen, welche der doppelten totalen Reflexion im Glaſe und derjenigen, die der Reflexion im Metalle entſpricht. Erfolgen die totalen Reflexionen bei $54°\frac{1}{2}°$ und die Reflexion auf Stahl bei $75°$, ſo beträgt die Neigung der Polariſationsebene des wiederhergeſtellten Strahles gegen die Reflexionsebene $30\frac{1}{2}°$ und man hat auch $\frac{45° + 17}{2} = 31°$, wo $45°$ die Verſetzung der Polariſationsebene durch Glas, $17°$ jene durch Stahl bezeichnet.

134. Leitet man einen elliptiſch oder circular polariſirten Strahl durch ein dünnes Kryſtallplättchen oder durch ſchnell gekühltes oder gepreßtes Glas und läßt ihn dann auf eine polariſirende Glasplatte oder ein Doppelſpathprisma fallen, ſo treten wie bei der geradlinigen Polariſation Farben hervor; ſie ſind aber von den bei letzterer zum Vorſchein kommenden verſchieden und befolgen auch andere Geſetze. So z. B. ändert ſich die Farbe eines von circular polariſirtem Lichte durchſchienenen Glimmerplättchens, wenn man dasſelbe um den Strahl wie um eine Axe dreht, und geht in eine andere über, während im geradlinig polariſirten Lichte unter denſelben Umſtänden ſich nur die Intenſität der Farbe ändert. Dieſes gibt ein gutes Mittel ab, alſogleich zu erkennen, ob ein Strahl circular polariſirt ſey oder nicht. Man ſchließt aus dieſem Kriterium, daß ein Bergkryſtall parallel mit ſeiner Brechungsaxe dem Lichte circulare Polariſation ertheile; denn ſchneidet man von einem Bergkryſtalle, ſenkrecht auf ſeine Hauptaxe, ein Plättchen mit parallelen Wänden ab und legt es in die Öffnung des Tiſches *H* beim Polariſationsinſtrumente, damit polariſirte Strahlen durch dasſelbe gehen; ſo gibt es, durch einen Doppelſpath angeſehen, zwei farbige Bilder, die beim Drehen des Plättchens ihre Farbe

ändern, wie das vorher betrachtete Glimmerplättchen. Gleich dicke Plättchen aus demſelben Kryſtalle geben denſelben Farbenwechſel; Plättchen aus verſchiedenen Kryſtallen geben aber unter denſelben Verhältniſſen verſchiedene Farben, und oft erreicht man nur dann eine gleiche Farbenfolge, wenn man ein Plättchen von der rechten zur linken, das andere von der linken zur rechten Hand dreht; ja zwei ſolche über einander gelegte Plättchen von genau entgegengeſetzter Art laſſen einen Lichtſtrahl ungeändert durch. Dieſen Gegenſatz erkennt man ſchon aus dem Äußeren der Kryſtalle; denn zwei Kryſtalle, bei denen er Statt ſindet, können nie in eine ſolche Lage gebracht werden, daß alle Flächen derſelben parallel ſind. Dieſelbe Erſcheinung bietet auch Terpentinöhl, Citronenöhl ꝛc. dar, wenn es in einem metallenen Gefäße mit ebenem gläſernen Boden beſindlich iſt, das an die Stelle des erwähnten Kryſtallplättchens gebracht wird, nur fordert jeder Körper eine eigene Dicke, um dieſelben Farben zu geben. Dieſe iſt z. B. bei Terpentinöhl 69mal größer als beim Bergkryſtalle. Die Kraft, mit welcher ſolche Körper auf das Licht wirken, bleibt dieſelbe, es mag die Anordnung und Verbindung der materiellen Theile durch Schütteln, Ändern des Aggregationszuſtandes, Vermengen mit anderen nicht auf das Licht wirkenden Stoffen, ja ſelbſt durch chemiſche Verbindung wie immer geändert werden; wenigſtens fand ſie Biot beim reinen oder in Dämpfe verwandelten, beim mittelſt Salzſäure in künſtlichen Kampfer umgeſtalteten Terpentinöhle von gleicher Größe. (Fresnel in Zeitſch. 2. 1. Brewſter in Pogg. Ann. 21. 219. Zeitſch. 9. 495; 10. 101.)

Theoretiſche Anſicht der Polariſation und doppelten Brechung.

135. Die Emanationshypotheſe iſt den Phänomenen und Geſetzen der Polariſation und doppelten Brechung durchaus nicht gewachſen und wenn ſie ja in einigen Puncten etwas leiſtet, ſo bezieht ſich dieſes nur auf einzelne, einfache Fälle, keineswegs auf das, durch die neueſten Entdeckungen ziemlich verwickelt gewordene Ganze dieſes Theiles der Optik. Man nimmt zwar zur Erklärung der Polariſationsgeſetze an, jedes Lichttheilchen beſitze an verſchiedenen Seiten verſchiedene Eigenſchaften und an einem polariſirten Strahle haben alle mit gleichen Eigenſchaften begabten Theilchen dieſelbe Richtung, während dieſe im unpolariſirten Strahle verſchiedene Richtungen haben; allein man erklärt

dadurch nicht viel mehr, als die allgemeinen Geſetze der Reflexion und Transmiſſion polariſirter Strahlen, keineswegs aber ihre Interferenzgeſetze und noch viel weniger den Übergang der geradlinigen Polariſation in die elliptiſche und circulare und die Eigenthümlichkeiten der ſo polariſirten Strahlen, über deren inneres Weſen man nach dieſer Hypotheſe überhaupt noch gar keine Behauptung aufzuſtellen gewagt hat. Nicht viel mehr leiſtet dieſe Hypotheſe in Betreff der doppelten Brechung. Man hat zwar gezeigt, daß ſich der Weg eines ungewöhnlich gebrochenen Strahles in einem doppelt brechenden Körper aus einer von der Axe ausgehenden Kraft nach dem Geſetze der kleinſten Wirkung beſtimmen laſſe, allein man hat dieſe Kraft nicht näher characteriſiren können und man zeigt nicht, warum ſie einige Lichttheilchen afficire, die anderen nicht. Überhaupt hat man dadurch nur bewieſen, daß ſich der ungewöhnlich gebrochene Strahl nach den allgemeinen Geſetzen der Bewegung richte, nicht aber, von welcher Art dieſe Bewegung ſey.

136. Die Vibrationshypotheſe iſt zwar auch in dieſem Theile der Optik nicht mit allem vollkommen im Reinen, doch leiſtet ſie, in einem durchaus conſequenten, einfachen Gange ungemein viel und hat gerade in den ſchwierigſten Parthien zu neuen, äußerſt wichtigen Entdeckungen geführt. Die Schwingungen der Äthertheile erfolgen nach (3) in der Ebene der Welle, ſenkrecht auf die Richtung des Strahles. In einem geradlinig polariſirten Strahle gehen alle Vibrationen in einer Ebene ſenkrecht auf die ſogenannte Polariſationsebene vor ſich, während in einem nicht polariſirten die auf einander folgenden Schwingungen in verſchiedenen Ebenen erfolgen. Zwei rechtwinkelig polariſirte Strahlen ſind ſolche, denen Schwingungen entſprechen, welche in auf einander ſenkrechten Ebenen liegen. Hieraus folgen nun alle Geſetze der Reflexion, Brechung und Interferenz des geradlinig polariſirten Lichtes. Man ſieht z. B. unmittelbar ein, daß ſich entgegengeſetzt polariſirte Strahlen nicht durch Interferenz aufheben können, indem ſie wie zwei auf einander ſenkrechte Kräfte wirken (*I.* 226), daß gleich polariſirte wie unpolariſirte ſich interferiren, daß man einen unpolariſirten Strahl als aus zwei entgegengeſetzt polariſirten Hälften beſtehend annehmen könne (weil ſich ſeine Schwingungsrichtung in zwei auf einander ſenkrechte zerlegen läßt); daß ſich nur Strahlen von derſelben Lichtquelle regelmäßig interferiren, ja aus den mittelſt dieſer Vorausſetzungen abgeleiteten For-

meln folgt ſogar die Intenſität des reflectirten oder gebrochenen polariſirten Lichtes genau ſo wie ſie die Erfahrung angibt. (Pogg. Ann. 22. 90). Selbſt über das Entſtehen der Polariſation gibt die Vibrationshypotheſe Aufſchluß. Man kann zeigen, daß ſie aus der Interferenz zweier Theile eines Lichtſtrahls hervorgehe, in welche ein einzelner Strahl beim Übergange von einem Mittel in ein anderes getheilt wird. Die aus dieſer Interferenz hervorgehende Schwingung iſt, der Neigung der Schwingungsebenen der ſich interferirenden Strahlen gemäß, bald eine geradlinige, bald erfolgt ſie in einer Ellipſe, bald in einem Kreiſe und es entſteht demnach eine geradlinige oder eine elliptiſche oder eine circulare Polariſation.

137. Die vorher angeführten Vorſtellungen über die dem Lichte zum Grunde liegenden Schwingungen erklären auch die Polariſation der zwei Theile, in welche ein Lichtſtrahl in einem doppelt brechenden Körper geſpalten wird, die doppelte Brechung ſelbſt wird aber aus einer nach verſchiedenen Richtungen verſchiedenen Elaſticität des im betreffenden Körper vorhandenen Äthers abgeleitet. Bekanntlich beſitzen Kryſtalle nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität, aber rings um gewiſſe Linien (Axen) und ſenkrecht auf ſie iſt dieſe Elaſticität dieſelbe. So wie nun die Molecularkräfte dieſe Verſchiedenheiten der Elaſticität begründen, wirken ſie auch verſchieden auf den die kleinſten Theile umgebenden Äther und beſchränken ſeine Elaſticität nach verſchiedenen Richtungen verſchieden. Man denke ſich nun, um einen beſtimmten Fall vor Augen zu haben, einen Kryſtall mit e i n e r Axe der doppelten Brechung und nehme an, der in ihm enthaltene Äther habe ſenkrecht auf die Axe und ringsum einerlei Elaſticität und es werden daher durch Verſchiebung einer auf die Axe ſenkrechten Reihe von Äthertheilchen gegen ihre anliegenden Theile rings um die Axe gleiche beſchleunigende Kräfte geweckt. Fällt auf eine Fläche dieſes Kryſtalls (Fig. 229*) ſchief gegen die Axe Ax der doppelten Brechung ein Strahl SA ein, der in der Ebene des Hauptſchnittes (welche mit der Ebene des Papiers der Zeichnung zuſammenfällt) polariſirt iſt, ſo erfolgen ſeine Oscillationen ſenkrecht auf den Strahl in einer auf die Polariſationsebene ſenkrechten Richtung, mithin auch ſenkrecht auf die Axe Ax; es herrſcht demnach in allen Schichten des Äthers, durch welche ſich die Bewegung erſtreckt, und bei jeder Neigung des Strahles gegen die Axe einerlei beſchleunigende Kraft, mithin dieſelbe Geſchwindigkeit, und es erleidet dieſer Strahl

ganz die gewöhnliche Brechung. Iſt er aber in einer auf dem Hauptſchnitte ſenkrechten Ebene polariſirt, ſo erfolgen ſeine Schwingungen in einer durch den Strahl und die Axe gehenden Ebene und ſenkrecht auf den Strahl, mithin ſchief gegen die Axe, da iſt nun offenbar die aus der Verſchiebung der Ätherteile hervorgehende Kraft, mithin die Geſchwindigkeit des Strahles für jede Neigung gegen die Axe anders; hier erfährt dieſer Strahl die ungewöhnliche Brechung. Iſt der Strahl in einer gegen den Hauptſchnitt geneigten Ebene polariſirt, ſo erfolgen auch ſeine Schwingungen in einer gegen den Hauptſchnitt geneigten Ebene und ſenkrecht auf den Strahl und es wird gerade ſo ſeyn, als gäbe es zwei Schwingungen, eine in einer auf dem Hauptſchnitte ſenkrechten, und die andere in einer auf der Ebene des Hauptſchnittes parallelen Ebene; für erſtere iſt die Geſchwindigkeit bei jeder Neigung des Strahles dieſelbe, für letztere ändert ſich die Geſchwindigkeit mit der Neigung gegen die Axe, jene entſpricht einem gewöhnlich gebrochenen, dieſe einem ungewöhnlich gebrochenen Strahle, und ſomit erleidet ein ſolcher Strahl die doppelte Brechung und ſeine zwei Theile ſind nach entgegengeſetzten Richtungen polariſirt.

138. Die vorhergehenden Betrachtungen laſſen ſich leicht auf unpolariſirtes Licht anwenden. Einen Strahl ſolchen Lichtes kann man nämlich als aus zwei Hälften beſtehend betrachten, deren eine in der Ebene des Hauptſchnittes, die andere in einer darauf ſenkrechten Ebene polariſirt iſt (117); erſtere erleidet durchaus die gewöhnliche, letztere durchaus die ungewöhnliche Brechung und ſo kommt es, daß ein natürlicher Strahl in zwei entgegengeſetzt polariſirte Theile geſpalten wird, die nach verſchiedenen Geſetzen gebrochen werden. Nur wenn ein ſolcher Strahl parallel mit der Axe iſt, unterbleibt die doppelte Brechung und Polariſation, weil da die Schwingungen in einer durch die Axe gehenden Ebene und ſenkrecht auf die Axe erfolgen. Mit einem zweiaxigen Kryſtalle erfolgt etwas ähnliches, nur gibt es in demſelben zwei Linien, auf denen ſenkrecht und rings um ſie eine conſtante Ätherelaſticität herrſcht. Wollte man in dieſe Theorie, wovon hier nur die Elemente vorgetragen wurden, weiter eindringen und zugleich auch den Weg des ungewöhnlich gebrochenen Strahles ꝛc. genau daraus ableiten, ſo müßte man ſich mathematiſcher Mittel bedienen, welche größtentheils außerhalb der Grenzen des elementaren Unterrichtes liegen. (Suppl. S. 549 — 563)

Eilftes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

139. Durch den Sinn des Geſichtes gelangen wir zur Vorſtellung der Größe, Entfernung, Geſtalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieſes Sinnes iſt das Auge. Der für den Phyſiker intereſſante Theil des Auges iſt der Augapfel. Dieſer befindet ſich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verſchiedenen Seiten bewegt werden kann. Er iſt durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren zu ſtarken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geſchützt. Der Augapfel (Fig. 230) hat nahe die Geſtalt einer Kugel und beſteht im weſentlichen aus Häuten und ſogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerſte, dicke, feſte, weiße, elaſtiſche Haut *a* heißt die harte Haut *(tunica sclerotica)*, ihr vorderer durchſichtiger, mehr convexer Theil *b* Hornhaut *(cornea)*. Unter der harten Haut liegt die Aderhaut *(tunica choroidea)*. Dieſe beſteht meiſtens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt ſich aber vorne, wo die Hornhant anfängt, von derſelben und geht in die Regenbogenhaut *(iris)* über. Dieſe hat in der Mitte eine Öffnung, das Lichtloch *c (pupilla)*, welche ſich erweitern und zuſammenziehen kann. Endlich befindet ſich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut *(retina)*, welche eine Ausbreitung des Sehnerves *d* iſt. Das Innere des Augapfels iſt durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication ſtehen. In dieſen Kammern befinden ſich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwiſchen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerſt durchſichtige gallertartige Subſtanz. In einer Vertiefung derſelben gegen vorne liegt die zwar beiderſeits, aber ungleich convexe Kryſtallinſe *e*, die aus zarten Platten beſteht, welche inwendig einen dichteren Kern in ſich ſchließen, ihre convexere Seite iſt gegen die Netzhaut gekehrt. Zwiſchen der Linſe und der Hornhaut iſt endlich eine waſſerhelle, etwas ſalzige Flüſſigkeit, die ſogenannte wäſſerige Feuchtigkeit, enthalten. Die Augen vieler Thiere wie z. B. der meiſten Säugethiere, der Vögel, ſind denen des Menſchen ſehr ähnlich. Fiſche haben eine faſt kugelförmige Kryſtalllinſe, nur wenig Glasfeuchtigkeit und faſt

eine Waſſerfeuchtigkeit. Inſecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verſchiedener Anzahl vor. (Anatomiſche und phyſiologiſche Darſtellung des menſchlichen Auges von F. Müller. Wien, 1819.)

140. Fällt von einem leuchtenden Puncte ein Lichtkegel ins Auge, ſo werden jene Strahlen, die auf die Pupille kommen, eindringen und ſich in einem Puncte vereinigen, nachdem ſie bei ihrem Durchgange durch die Feuchtigkeiten des Auges gebrochen worden ſind. Indem dieſes von jedem Puncte gilt, ſo entſteht von einem leuchtenden Gegenſtande ein kleines, verkehrtes Bild, durch welches der Sehnerv afficirt wird. Wie von da weiter das Sehen vor ſich gehe, wäre eine für den Phyſiker fremdartige Unterſuchung, wenn ſie auch innerhalb der Grenzen des menſchlichen Wiſſens läge.

141. Damit dieſes Bild auf die gehörige Weiſe wahrgenommen werden könne, muß es deutlich, hinreichend hell ſeyn, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Größe haben und lange genug anhalten. Zur Erzielung der nöthigen Deutlichkeit iſt das Auge ſo eingerichtet, daß die Bilder ſowohl von der ſphäriſchen, als von der chromatiſchen Abweichung frei ſind. Zur Aufhebung der erſteren trägt vorzüglich die Form der Kryſtalllinſe, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; die zweite ſcheint durch die Zuſammenſetzung der Feuchtigkeiten und durch die verſchiedene brechende Kraft der Theile der Linſe gehoben zu werden. Indeß hat es nach Fraunhofers Verſuchen (Gilb. Ann. 56. 301) mit dem vollkommenen Achromatismus des Auges nicht ſeine volle Richtigkeit. Um dem Bilde die nöthige Helligkeit zu verſchaffen, muß der ihm entſprechende Gegenſtand die nöthige Lichtmenge ins Auge ſenden, bei zu ſtarkem Lichte zieht ſich die Pupille zuſammen und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu ſchwachem erweitert ſie ſich und nimmt einen größeren Lichtkegel auf, doch hat dieſes ſeine Grenzen und man kann weder bei zu ſtarker noch bei zu ſchwacher Beleuchtung hell ſehen; aber dieſe Grenzen liegen ſehr weit aus einander. Man kann z. B. beim Lichte einer Wachskerze und bei dem 12000mal ſtärkeren Sonnenlichte, ja ſogar bei dem 25mal ſchwächeren Lichte des Vollmondes leſen. Augen, die an ſparſames Licht gewöhnt ſind, ſehen ſelbſt dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte wandelnden dunkle Nacht iſt. Wenn das Licht von ſeinem Mittel nicht geſchwächt wür-

de, ſo müßte uns ein leuchtender und beleuchteter Körper bei jeder Entfernung, gleich hell erſcheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Puncte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen phyſiſchen Puncte rücken einander in demſelben Maße näher und das ganze Bild des Objectes wird in demſelben Verhältniſſe kleiner. Die Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachſender Entfernung rührt daher blos von der abſorbirenden Kraft des Mittels her.

142. Es iſt klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenſtänden, die eine gewiſſe Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenſtände von verſchiedener Entfernung zwiſchen beſtimmten Grenzen deutlich ſieht; ſo muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich ſeyn. Ob dieſes die Lage oder Geſtalt der Linſe oder der Netzhaut ſey, iſt nicht entſchieden, jedoch erſteres wahrſcheinlich. Die Meinung, daß die Glasflüſſigkeit eine ungleichförmige Dichte habe, durch welche die Strahlen außer der Axe nach der Brechung mit derſelben parallel werden und ſie gleichſam berühren, ſo wie die neueſtens aufgeſtellte Anſicht, daß die Kryſtalllinſe wegen der ungleichen Dichte ihrer Schichten eine große Anzahl von Brennpuncten habe, deren jeder den mit einer gewiſſen Divergenz auffallenden Strahlen entſpricht, ſcheint mir nicht der Natur entſprechend zu ſeyn, weil man es gleichſam empfindet, daß ſich im Auge etwas ändere, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet. (Brewſter in Pogg. Ann. 2. 271). Es hat aber auch dieſe Richtkraft des Auges ihre Grenzen, und das Auge vermag im geſunden Zuſtande nicht, das Bild eines Gegenſtandes, der ihm näher ſteht als 8—10 Z., auf die Netzhaut zu bringen. Darum ſieht man auch nur jene Gegenſtände die außerhalb dieſer Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieſer Grenze ſelbſt iſt das Bild deutlich und zeigt ſich am hellſten und größten, darum heißt die Entfernung von 8—10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Bei dieſer Entfernung kann nur ein Strahlenkegel ins Auge gelangen, deſſen Neigungswinkel nicht über 33′ beträgt, ſo daß man ihn faſt als einen Strahlencylinder anſehen kann. Bei größerer Entfernung der leuchtenden Gegenſtände iſt dieſer Winkel noch kleiner und die Strahlen werden mit einander völlig parallel. Darum nimmt man auch nicht ſelten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen

erfordert werden, wiewohl dieſe Annahme nicht ganz richtig iſt, aber ſie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menſchen iſt die Entfernung des deutlichſten Sehens bedeutend kleiner, bei anderen viel größer als die vorhin angegebene. Erſtere heißen **kurzſichtige**, letztere **weitſichtige**; jener Fehler läßt ſich durch den Gebrauch von Hohllinſen, dieſer durch den Gebrauch von Convexlinſen verbeſſern, weil jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt iſt, als der Gegenſtand, dieſe hingegen eines, deſſen Entfernung die des Gegenſtandes übertrifft. Unter Waſſer iſt jedes Menſchenauge ſehr weitſichtig und kann nur mittelſt einer ſehr convexen Linſe deutlich ſehen. Ohne dieſe vernimmt es von einem Gegenſtande nur einen Lichtſchein, aber kein Bild.

Nur die vorhandene Kurzſichtigkeit und Weitſichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen ſoll, nicht etwa der Umſtand, daß man mit Brillen heller ſieht, als ohne ſie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen paſſen, mit denen man am ſchärfſten ſieht, ſondern die ſchwächſten von allen denen, mit welchen man in der Sehweite deutlich ſieht. Jede Brille ſoll genau ſphäriſche Krümmungen haben, darum haben auch nicht Brillen von jedem Künſtler gleichen Werth. Oft muß die Brille für ein Auge ſtärker ſeyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindriſche Brillen. (Zeitſch. 3. 452). Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glaſe ſind an den dickeren Stellen dunkler als an den dünnern; iſochromatiſche Brillen (aus weißem Glaſe mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) ſind ſehr zu empfehlen. Periſcopiſche Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch ſie auch die ſeitwärts gelegenen Objecte noch deutlich ſieht, ſpiegeln aber zu ſehr. Jede Brille ſoll möglichſt nahe am Auge ſeyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. **Adams** Anweiſung zur Erhaltung des Geſichtes ꝛc. (a. d. Engl.) Gotha, 1794.

143. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden ſoll, ſo muß es eine gewiſſe Größe haben. Bei einem beleuchteten Gegenſtande darf es nicht unter $\frac{1}{1000}$ Z. an Länge oder Breite haben, oder nicht unter einem Winkel von weniger als $\frac{1}{2}$ M. erſcheinen; nach **Humboldt** ſieht man einen weißen Gegenſtand bei ſehr reiner Luft noch bei einem Winkel von 13″, übrigens hängt dieſer Winkel auch von der Farbe und von der Lichtſtärke ab. **Plateau** ſah Weiß im Sonnenlicht bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″, im Schatten war jeder Winkel etwa um $\frac{1}{3}$ größer; einen Lichtſchein erregen leuchtende Gegenſtände auf

der Netzhaut ſelbſt noch dann, wenn ſie unter einen Winkel erſcheinen, der kleiner als eine Secunde iſt. Jeder Lichteindruck braucht ſowohl zu ſeiner vollkommenen Entwicklung als zum völligen Verſchwinden eine gewiſſe Zeit. Dieſe richtet ſich, Plateau's Verſuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umſtänden nach der Farbe des Lichts. Den dauernſten und ſtärkſten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an bis zum völligen Verſchwinden beträgt 0″.34. Folgen Eindrücke zu ſchnell auf einander, ſo nimmt ſie das Auge mit einander verbunden wahr und erhält demnach von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck. Geht der Eindruck zu ſchnell vorüber, ſo nimmt man nichts davon wahr. Darum ſieht man eine abgeſchoſſene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verſchwinden die Umriſſe eines $28\frac{1}{2}$ Z. vom Auge entfernten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenſtand ſelbſt, wenn er 265° 8′ zurücklegt.

144. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die ſcheinbare Größe der auf einmal überſehenen Gegenſtände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entſprechende Änderung in dieſer hervorbringen. Iſt *AB* (Fig. 230. *a*) ein leuchtender Gegenſtand, *C* die Augenöffnung, *DE* ein Stück der Netzhaut, ſo geben die von den äußerſten Puncten *A* und *B* durch *C* gehenden Strahlen die Größe des Bildes *ba*, welches im Auge entſteht. Da dieſe offenbar von der Größe des Winkels *ACB* abhängt, ſo kann man ihn mit Recht den Geſichtswinkel *(angulus opticus)* nennen und als das Maß der ſcheinbaren Größe eines Gegenſtandes anſehen. Er wird aber ſelbſt durch die abſolute Größe des Gegenſtandes und durch ſeine Entfernung vom Auge beſtimmt und iſt deſto größer, je größer jene und je kleiner dieſe iſt. Die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes, den man nicht auf einmal überſieht, wird theils durch die Größe ſeiner auf einmahl überſehenen Theile, theils durch den Weg beſtimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle ſeine Theile hinter einander zu überſehen.

145. Das Bild der Gegenſtände erſcheint zwar im Auge, aber wir verſetzen es auf eine uns unbegreifliche Weiſe außer uns in eine Entfernung von uns, die nicht durch unmitelbare Empfindung gegeben iſt, weil ſie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kömmt. Alles, was

wir über Entfernung eines Gegenſtandes von uns wiſſen, iſt Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die ſich mit der Entfernung der Gegenſtände vom Auge ändern, beſtimmt wird. Zu dieſen Empfindungen gehören: 1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen, d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Puncte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenſtandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (beim Schielen ausgenommen) auf einen Punct desſelben; je näher dieſer liegt, deſto größer iſt der Winkel der Augenaxen und deſto mehr Anſtrengung koſtet es die Muskeln, dieſe Richtung herzuſtellen. Es ſteht daher die Empfindung dieſer Anſtrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punctes in Verbindung. Dieſes Beurtheilungsmittel fehlt dem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenſtand ſieht, darum irrt er ſich häufiger in ſeinem Urtheile, wie folgender Verſuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf, und ſtellt ſich ſo, daß man ſeine Öffnung nicht ſieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen iſt; ſo wird man mit dieſem Haken die Öffnung des Ringes meiſtens verfehlen, wenn man blos mit einem Auge darauf ſieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hülfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt dieſe ab, ſo ſcheint ſeine Entfernung von uns zu wachſen. 3) Die Menge der zwiſchen dem Auge und dem Gegenſtande liegenden Dinge. 4) Die ſcheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr ſolche Empfindungen auf unſer Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, deſto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenſtänden helfen faſt alle erwähnten Puncte zuſammen und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, deſto mehr ſieht man ſich dieſer Hülfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewiſſe Grenze überſteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unſer Urtheil ſtützen könnten. — Anders verhält es ſich mit der ſcheinbaren Entfernung der auf einmal geſehenen Gegenſtände von einander. Dieſe wird blos durch den Abſtand der Bilder dieſer Gegenſtände im Auge beſtimmt und verhält ſich daher wie die ſcheinbare Größe. Darum können wir die Entfernung ſolcher Objecte von einander, die in der Richtung der Augenaxen liegen, nicht beurtheilen. Auch zur Beurtheilung

der Diſtanz der zwei Bilder eines Gegenſtandes in beiden Augen iſt uns nichts gegeben, ſobald ſie auf gleich gelegenen Puncten der Netzhaut entſtehen. Darum ſehen wir auch mit beiden Augen die Gegenſtände nur einfach. Wenn man aber ein Auge mit dem Finger drückt und dadurch das Bild in demſelben auf eine andere Stelle der Netzhaut bringt, als diejenige iſt, auf welche daſſelbe Bild im anderen Auge fällt; ſo iſt die Empfindung gerade ſo, als befänden ſich beide Bilder in einem Auge an den entſprechenden Stellen der Netzhaut und man ſieht zwei Objecte, deren ſcheinbare Entfernung von einander durch die Größe des zwiſchen den Bildern gelegenen Stückes der Netzhaut gegeben iſt. (Zeitſch. 5. 117.)

146. Mit der ſcheinbaren Größe eines Dinges iſt uns zugleich der Umriß ſeiner uns zugekehrten Fläche und mit der Entfernung jedes einzelnen Punctes derſelben auch zugleich die räumliche Beſchaffenheit dieſer Fläche gegeben, daher durch beides ihre Geſtalt. Nicht ſelten iſt uns zur Beurtheilung der Geſtalt eines Körpers innerhalb ſeiner Umriſſe die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage ſeines Schattens behülflich. An einem convexen Körper iſt immer ein Punct leuchtender als die anderen *(point brillant)* und ſein Schatten liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derſelben Seite. Jeder Körper erſcheint uns aber nur als Fläche, weil ſein Bild im Auge auch nur eine Fläche iſt.

147. Die Lage, welche die Bilder mehrerer Gegenſtände im Auge zu einander haben, gibt die ſcheinbare Lage dieſer Gegenſtände ſelbſt. Wiewohl das Bild gegen ſeinen Gegenſtand verkehrt erſcheint, ſo haben doch mehrere Bilder unter einander dieſelbe Lage, wie die ihnen entſprechenden Dinge außer dem Auge, und erſcheinen uns demnach auch in natürlicher Lage. Daß ſie aufrecht erſcheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer beſtehen mag, ſo muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der ſich in das Innere derſelben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom unterſten Puncte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch dieſen Punct von unten nach oben, diejenigen Strahlen, welche vom oberſten Puncte ins Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es iſt daher dem gewöhnlichen Gange unſerer Empfindungen gemäß, das als unteres zu erken=

nen, das von unten aus, jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

148. Die Bewegung der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht blos von der des Gegenſtandes abhängt, ſondern auch von der des Auges; ſo wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der Bewegte ſey, nicht durch den Sinnenſchein beantworten können. Die Bewegung ſelbſt iſt nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß iſt. Nach Schmidt darf der in einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter $2\frac{1}{4}$ Minuten betragen.

149. Die Farbe eines Gegenſtandes hängt von der Brechbarkeit des Lichtes ab, das er ins Auge ſendet. Schickt ein Körper Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältniſſe ins Auge, ſo erſcheint er weiß, ſchickt er aber von keiner Strahlengattung ſo viele dahin, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann, ſo erſcheint er ſchwarz. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, ſondern nur einige derſelben dem Auge zuſenden, erſcheinen von der Farbe, die aus ihrem Geſammteindrucke hervorgeht. Faſt alle Farben entſtehen auf dieſe Weiſe durch Zuſammenſetzung der Eindrücke mehrerer verſchiedenfarbiger Strahlen, weil faſt kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge ſendet, ſondern immer mehrere derſelben dahin gelangen. Solche Zuſammenſetzungen verſchiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe, können Statt finden, wenn verſchiedenfarbige Strahlen auf einmal oder ſchnell hinter einander ins Auge treten, doch erzeugen ſie ſelbſt bei einerlei Beſchaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieſelbe Farbe. Bemahlt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gumigutte ein weißes Papier, ſo erſcheint dieſes ſchön Grün. Theilt man nun eine Kreisſcheibe in zwei Sectoren, bemahlt einen mit Gumigutte, den anderen mit Berlinerblau recht ſtark und dreht dann die Scheibe, ſo erhält man eine andere Farbe, die ſelbſt wieder von der Schnelligkeit der Rotation, alſo von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht ſo ſchnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, ſo erſcheinen auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange, wird aber ſo ſchnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt ſieht, ſo erſcheint dieſelbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau ſehr blaß aufträgt, kann man

einen Stich ins Grüne hervorbringen. Ähnliche Erſcheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.)

Farbe iſt von dem, was man Farbeſtoff nennt, weſentlich verſchieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet. Erſtere iſt eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale, welches die dieſe Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zuſendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder ſeine chemiſche Natur dahin abändern, daß er beſtimmte Strahlen reflectirt.

150. Wiewohl die Farbe eines Gegenſtandes in der Regel in ihm ſelbſt ihren Grund hat, ſo gibt es doch auch ſolche Farbenerſcheinungen, die in der Natur des Auges begründet ſind, und die man daher mit Recht ſubjective, nach Göthe, phyſiologiſche Farben nennt. Der Grund ihres Entſtehens liegt theils darin, daß das Auge durch zu ſtarken Lichtreiz für irgend eine Strahlengattung unempfindlich wird, theils darin, daß es von mehreren Eindrücken von ſehr verſchiedener Intenſität, den ſchwächern gar nicht empfindet. Als Beiſpiel einer ſubjectiven Farbenerſcheinung mag Folgendes dienen: Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an, und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; ſo ſieht man dieſelbe Schrift in grünen Zügen. War die Schrift orange, ſo ſieht man ſie auf dem zweiten Papiere blau, war ſie gelb, ſo erſcheint ſie violett. Die vor den Augen ſchwebenden Farben, wenn man in die Sonne geſehen hat und dann die Augenlieder ſchließt u. d. m. gehören hierher. Hier wird das Auge für rothe Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in daſſelbe, ſo bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der rothen enthält, nämlich der grünen. Daß dieſes die wahre Erklärung der ſubjectiven Farben ſey, beweiſet der Umſtand, daß wenn man den früher erwähnten Verſuch mit einem Auge anſtellt, und das andere verſchloſſen hält, beim wechſelſeitigen Öffnen des einen oder des andern die ſubjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. (Scherffers Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien, 1765. 8. Lateiniſch *de coloribus accidentalibus*. 1761. 4. Göthe's Farbenlehre.) Setzt man in einem dunklen Zimmer zwei hellbrennende Kerzen oder zwei Lampen in gleicher Entfernung von dem Beobachter auf einen weißen Tiſch, ſtellt dann vor ſie einen undurchſichtigen Körper,

der von jedem Lichte einen Schatten werfen kann; ſo erhält man natürlich zwei Schattenbilder, die grau ſind, weil der Schatten von einem Lichte in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Hält man aber vor das eine Licht ein etwas großes z. B. rothes Glas, ſo erſcheint der von dieſem Lichte erleuchtete Schatten von derſelben Farbe, der andere von der dazu complementären, in unſerem Falle grün. Etwas Ähnliches läßt ſich mit andern gefärbten Gläſern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Geſagten ganz ungezwungen; denn iſt z. B. *R* (Fig. 231) die mit dem rothen Glaſe bedeckte Flamme, *A* die unbedeckte weiße, *C* der undurchſichtige Körper, welcher den Schatten wirft, *r* der Schattenraum, welcher durch *R*, und *a* derjenige, welcher durch *A* beleuchtet wird; ſo iſt klar, daß in den unbeſchatteten Raum *b* rothes und weißes Licht falle, und da das weiße ſelbſt wieder rothes enthält, ſo iſt das rothe das überwiegende, jedoch wird *r* mehr roth erſcheinen, weil es nur allein rothe Strahlen erhält. Die rothen Strahlen, welche das in *a* befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt. Die ſchönen blauen Schatten, welche ſich vor dem vollen Tagesanbruche in einem Zimmer zeigen, und viele andere, die man vorzüglich in *Göthe's* Farbenlehre angegeben findet, gehören hierher und werden auf gleiche Weiſe erklärt. (*Zſchokke* über gefärbte Schatten. Aarau, 1826.)

151. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Geſtalt verſchieden ſind, dieſelben Eindrücke bekommen kann, wie von ſolchen, die in dieſen Verhältniſſen mit einander übereinſtimmen und umgekehrt. Baut der Verſtand auf dieſe Eindrücke ohne weitere Unterſuchung ein Urtheil, ſo irrt er und unterliegt einer *optiſchen Täuſchung*.

Es iſt nicht ſchwer, den Grund jeder einzelnen optiſchen Täuſchung aufzufinden. Zur Übung im Erklären folgen hier einige. *Täuſchungen* in Bezug auf *Größe und Entfernung*: In einer aus parallelen Baumreihen beſtehenden Allee convergiren die entfernteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales ſcheint ſich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber ſich zu ſenken; eine Thurmſpitze neigt ſich gegen den Beobachter; durch eine kleine Öffnung ſieht man viele und ſehr große Gegenſtände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, ſcheint alſo eben ſo groß als dieſe; eigens gezeichnete Bilder (opti-

ſche Zerrbilder) ſcheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man ſie wie ein gewöhnliches Bild anſieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man ſie ſchief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papiere ſcheinen uns gezeichnete Gegenſtände eine ſehr verſchiedene Entfernung zu haben (Panorama). Sonne, Mond und Sterne ſcheinen am Firmamente angeheftet. Weiße Gebäude hält man für näher, als ſie ſind. In großen Ebenen, über Waſſer, ſchätzt man Entfernungen für zu gering. Täuſchungen in Bezug auf Geſtalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erſcheinen als Scheiben. Eine, durch Kerzenlicht beleuchtete Kugel durch eine Linſe, die ein verkehrtes Bild gibt, angeſehen, erſcheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denſelben Umſtänden als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erſcheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne ſcheint auf- und unterzugehen; ſieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Waſſer hinab, ſo ſcheint die Brücke ſtromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden ſcheinen die am Ufer befindlichen Gegenſtände ſich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf ſchnell, während man auf ein Object hinſieht, ſo ſieht man dieſes zittern. Eine glühende ſchnell im Kreiſe bewegte Kohle erſcheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe ſchnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, ſo glaubt man den Vogel im Käfig zu ſehen. (Thaumatrop, *trompe d'oeil.*) Sieht man durch die Zwiſchenräume eines Gitters auf die Speichen eines ſchnell vorbei rollenden Wagenrades, ſo ſieht man ſie nicht mehr ſich drehen, ſondern ſtatt ihrer unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieſer Erſcheinung muß man ſich das Gitter in Fortſchreiten und das Rad blos im Drehen aber nicht zugleich im Fortſchreiten begriffen denken, und ſich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorſtellen. Dieſe beiden Linien ſchneiden ſich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Puncten, dieſe geben die gedachte Curve. Sind dieſe beiden Bewegungen gleichförmig, ſo wiederholt ſich dieſelbe Erſcheinung, ſo oft Speiche und Öffnung in dieſelbe Lage zurückkehren und macht, daß dieſe Curve unbeweglich erſcheint). Läßt man einen geſchwärzten Kreiſel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenſcheine auf weißem Papiere ſpielen, ſo ſieht man an der Stelle, wo ſich die Scheibe des Kreiſels und ihr Schatten decken, feſtſtehende beſonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausſchnitten in Bewegung und ſieht ſo auf ſie hin, daß man beide zugleich erblickt; ſo bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, ſcheinen ſich aber die Räder zu decken, ſo ſieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelſchleier. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitſch. 10. 80.) Täuſchungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt iſt, erſcheint

ganz grün, wenn man ſie ſchnell um eine auf ihrer Ebene ſenkrechte Axe dreht. Eben ſo erſcheint ſie orange, wenn man ſie halb gelb und halb roth mahlt. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenſtand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor dasſelbe, ſo erſcheint er doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth erſcheinen. Viele Täuſchungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeſchaffenheit. Es gibt Menſchen, die alles grau ſehen, andere, die kein Roth, kein Grün ꝛc. wahrnehmen und ſelbſt durch Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit auf gleiche Weiſe afficirt werden; der Gelbſichtige ſieht alles gelb. Es ſoll ſogar Menſchen gegeben haben, die alles verkehrt, und andere, die alles doppelt geſehen haben. (Zeitſch. 2. 247; 4. 378; 6. 232.)

Zwölftes Kapitel.

Optiſche Inſtrumente.

152. Manches Object erſcheint dem freien Auge entweder wegen ſeiner zu großen Entfernung oder wegen ſeiner zu geringen Ausdehnung unter einem zu kleinen Geſichtswinkel, als daß man es noch deutlich ſehen könnte; öfters hat es auch eine für mehrere Zwecke zu unbequeme Lage. Um ſolche Objecte größer und daher auch deutlicher oder in einer beſſeren Lage zu ſehen, braucht man eigene, optiſche Inſtrumente, die aus Linſen, oder aus Linſen und Spiegeln zuſammengeſetzt ſind. Die vorzüglichſten derſelben ſind die Microſcope und die Teleſcope (Fernröhre). Daher ſoll von dieſen zuerſt und am ausführlichſten die Rede ſeyn, um ſo mehr, als jeder, welcher die Conſtruction dieſer verſteht, ſich die Kenntniß des Baues der übrigen optiſchen Inſtrumente leicht eigen machen wird.

Microſcope.

153. Ein Microſcop dient dazu, einen nahen Gegenſtand unter einem vergrößerten Geſichtswinkel zu ſehen. Man hat mehrere Arten derſelben, und zwar einfache und zuſammengeſetzte Microſcope. Ein einfaches Microſcop beſteht nur aus einer einzigen Linſe, ein zuſammengeſetztes aus mehreren Linſen oder aus Spiegeln und aus Linſen. Im erſteren Falle heißt es ein dioptriſches, im letzteren ein catoptriſches Microſcop.

154. Streng genommen iſt jede Converlinſe, ihre Brennweit' mag wie immer beſchaffen ſeyn, ein einfaches Microſcop, weil ſie von einem Gegenſtande, der ſich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen ſo ins Auge ſendet, als kämen ſie von einem größeren Objecte her. Man bedient ſich ſolcher Gläſer oft zum Leſen, gibt ihnen dann eine große Öffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchſehen kann, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Puncte aus in beide Augen gehen, mit der Axe des Glaſes keinen gar großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweiſe nur ſolche Converlinſen einfache Microſcope, deren Brennweite viel kleiner iſt, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, ſo heißt man ſie Loupen. Es ſei AB (Fig. 232) ein Gegenſtand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erſcheint, als daß er deutlich geſehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man AB näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verluſt derſelben dem Auge viel näher bringen können, wenn man eine microſcopiſche Linſe CD zwiſchen AB und das Auge ſtellt, durch deren Wirkſamkeit die Strahlen von AB ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem vergrößerten Gegenſtande $A'B'$ her, welcher ſich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

155. Man denke ſich das Auge ſehr nahe an der Linſe, und dieſe von der Art, daß man ihre Dicke vernachläſſigen und ſich das Auge in ihrem optiſchen Mittelpuncte O vorſtellen kann, ferner ſey $B'A'$ in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge: ſo iſt

$$B'A' : BA = OB' : OB \text{ oder } \frac{B'A'}{BA} = \frac{OB'}{OB}$$

Heißt nun $OB = a$, $OB' = \alpha$, die Brennweite der Linſe $= p$, ſo iſt wegen $\frac{1}{a} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\alpha}$.

$$\frac{A'B'}{AB} = \alpha \cdot \frac{1}{a} = \frac{\alpha}{p} - 1.$$

Es iſt alſo die Zahl der linearen Vergrößerung um die Einheit kleiner, als der Quotient aus der Brennweite der Linſe in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieſer Zahl gibt die Vergrößerung der Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergröße-

rung durch Microſcope iſt ſtets letztere zu verſtehen. — Hieraus ſieht man zugleich, daß dieſelbe Linſe für ein weitſichtiges Auge mehr, für ein kurzſichtiges weniger vergrößere, als für ein geſundes, und daß ein einfaches Microſcop deſto mehr vergrößere, je kleiner ſeine Brennweite iſt. Man hat ſolche Linſen, die über 40,000mal vergrößern, deren Brennweite daher kaum $\frac{1}{2}$ L. beträgt. Indeß iſt die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines ſolchen Inſtrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erſcheine. Dieſes wird der Fall ſeyn, wenn die Linſe vollkommen ſphäriſche Krümmungen hat, die Halbmeſſer derſelben ſo eingerichtet ſind, daß die ſphäriſche Abweichung nahe ein Kleinſtes iſt und die Randſtrahlen durch die Faſſung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatiſchen Abweichung iſt es gut, die Linſe aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzt. Daher thun Linſen aus Edelſteinen, z. B. aus Diamant, Saphir ꝛc. ſo gute Dienſte. Mittelſt ſo beſchaffener Linſen kann man die feinſten Gegenſtände, wie z. B. die Parallelſtreifen auf den Schüppen der Schmetterlingsflügel, deutlich ſehen, man wird ſich aber mit einem geringen Geſichtsfelde (Raum, den man auf einmal überſieht) begnügen müſſen und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht ſcheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entſpringt, das Auge recht nahe an die Linſe zu bringen.

Man kann ſtatt einer Linſe auch eine mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllte Glaskugel, oder gar nur einen Waſſertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Microſcop brauchen. Brewſter empfiehlt dazu die Kryſtallinſen aus Fiſchaugen. Daß bei ſtarken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet ſeyn müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Dieſes bewirkt man meiſtens mittelſt eines unter dem Objecte angebrachten Hohlſpiegels, oft wendet man aber noch überdieß eigene Hohlſpiegel an, die man an die Faſſung der Linſe anſteckt, damit ſie das die Linſe verfehlende Licht auf den Gegenſtand zurückſenden. Sie heißen Lieberkühn'ſche Spiegel und ſind beſonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieſer Inſtrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge ſo nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgeſetzt wurde, wenn überhaupt die Öffnung desſelben nur etwas bedeutend iſt. Je weiter das Auge vom Glaſe entfernt iſt, deſto mehr ſcheint das Object vergrößert, aber deſto kleiner wird das Geſichtsfeld.

156. Die einfachſte Gattung zuſammengeſezter Microſcope beſteht aus zwei Convexlinſen *A* und *B* (Fig. 233), die ſehr nahe neben einander ſtehen und eigentlich die Stelle einer einzigen, mehr convexen vertreten, dabei aber eine größere Lichtſtärke (Helligkeit) gewähren, als ein einfaches, eben ſo vergrößerndes Microſcop, und eine geringere ſphäriſche Abweichung verurſachen. Der Gegenſtand *ab* ſteht ſo gegen beide Gläſer, daß die Strahlen nach ihrer Brechung in *A* ſo auf *B* fallen, als kämen ſie von *a' b'* her, und erleiden durch dieſes Glas eine ſolche Modification, daß ſie ins Auge kommen, als wenn ſie von einem Gegenſtande *a'' b''* ausgingen, der ſich in der deutlichen Sehweite befindet. Es iſt begreiflich, daß man auf dieſelbe Weiſe drei Linſen zuſammenſetzen kann.

Chevalier hat dieſes Microſcop ſo eingerichtet, daß man den Gegenſtand gleich auf einem matten Glaſe, oder auf einem durchſcheinenden Papiere wahrnehmen kann. *A* und *B* ſind in ſeinem Inſtrumente Planconvexlinſen, deren Convexitäten einander zugekehrt ſind, *ab* iſt durch einen Concavſpiegel hinreichend erleuchtet, und die Strahlen fallen bei ihrem Austritte aus *B* auf ein dreiſeitiges und gleichſchenkeliges Prisma, wie *CED* iſt, dringen durch *CE* auf die Hypothenuſe *DE*, die mit Papier belegt iſt, werden nach *CD* reflectirt, ſo daß man oberhalb *CD* auf einem matten Glaſe den Gegenſtand ſehen und ohne Beſchwerde nachzeichnen kann. (*Bulletin de la Société d'encouragement. Nov.* 1822.) In die Reihe dieſer Inſtrumente gehört das neue Wollaſton'ſche Microſcop mit zwei Planconvexlinſen von verſchiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt ſind, auf welche aber das Licht, welches das (durchſichtige) Object beleuchtet und mittelſt eines kleinen Planſpiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerſt durch eine Convexlinſe gelangt (Fig. 234). Die Wirkung eines ſolchen Microſcops iſt ſehr zufriedenſtellend. (Pogg. Ann. 16. 176. Zeitſch. 8. 484.)

157. Die gewöhnlichen zuſammengeſezten Microſcope haben folgende Einrichtung: *A* (Fig. 235) iſt eine Sammellinſe, *BC* ein Gegenſtand, der etwas außer ihrer Brennweite ſteht und daher hinter *A* ein verkehrtes und vergrößertes Bild *bc* gibt; *D* iſt eine microſcopiſche Linſe, die gegen *bc* ſo ſteht, wie im einfachen Microſcope die Linſe gegen ihren Gegenſtand. Zu einem beſonderen Zwecke wird entweder in *E* oder in *F* eine dritte Convexlinſe angebracht. *A* heißt Objectivlinſe, *E* oder *F* Collectivlinſe, *D* Ocularlinſe. Man wendet nicht ſelten auch ſtatt einer einzigen Ocularlinſe zwei nahe an einander ſtehende an, die ein Microſcop, wie 156 geſagt wurde, bilden. Es hat daher in einem

ſolchen Falle ein zuſammengeſetztes Microſcop 4 Linſen. Bei dieſer Zuſammenſetzung der Linſen erhält man im Geſichtsfelde des Ocularglaſes ein verkehrtes und vergrößertes Bild. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Öffnungen der Linſen und ihre gegenſeitigen Stellungen im gehörigen Verhältniſſe; ſo iſt dieſes Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Geſichtsfeld. Man wird aber nur bei einer ſehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Microſcop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objective gemachten Bildes durch das Ocular noch geſteigert wird. Um zu ſehen, wovon jeder dieſer Vorzüge für ſich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Microſcops, vorzüglich die Objectivlinſe und die Ocularlinſen, für ſich betrachten.

158. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinſe wird ſelbſt bei der vollkommenſten ſphäriſchen Geſtalt und der zweckmäßigſten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein von der chromatiſchen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man ſie durch eine Flintglaslinſe achromatiſiren. Die Flintglaslinſe wird dem Objecte zugewendet. Es iſt allerdings theoretiſch möglich, die vier Krümmungen einer ſolchen Doppellinſe ſo einzurichten, daß mit der chromatiſchen Abweichung auch die ſphäriſche größtentheils aufgehoben, mithin die Linſe aplanatiſch werde; aber in der Ausführung hat dieſes, bei der geringen Größe der Krümmungshalbmeſſer, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatiſchen Doppellinſen, beſonders wenn ſie ſehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um dieſen zu heben, braucht man oft drei Linſen, allein dieſe machen das Bild nur von der chromatiſchen Abweichung freier, vergrößern aber nicht ſelten die ſphäriſche. Letztere hebt man am beſten, wenn man zwei oder gar drei möglichſt gut achromatiſirte Doppellinſen wie in 156 unmittelbar über einander ſchraubt. Solche Objective geben aber nicht blos ein deutliches, ſondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linſen eine größere Öffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Puncte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linſe. Indeß haben ſolche Linſen doch den Nachtheil, daß man das Object ſehr nahe an die äußerſte derſelben ſtellen muß. — Daß Bild, welches eine Objectivlinſe macht, wird deſto größer ſeyn, je kürzer die

Brennweite der Linſe iſt und je näher man das Object an den Brennpunct derſelben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linſen beſteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linſe liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Öffnung der Linſe und mithin auch die Lichtſtärke des Bildes abnehmen und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich iſt, auch die Undeutlichkeit wachſen.

159. Das Ocular dient nur als einfaches Microſcop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb muß es nach denſelben Regeln conſtruirt ſeyn, nach welchen ein ſolches Microſcop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit ſo kurzer Brennweite verſehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Microſcope thut, weil das auf einmal zu überſehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meiſten Fällen auch die Lichtſtärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild iſt nie ganz frei von beiden Abweichungen und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Microſcop ein deſto ſchärferes Ocular, je vollkommener ſein Objectiv iſt, darum kann man bei aplanatiſchen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlaſſen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber ſelbſt bei der beſten Einrichtung des Objectives die chromatiſche und ſphäriſche Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinſtes zu bringen ſuchen. Zu erſterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, deſſen Function man aus Folgendem erſehen wird. Es ſey *A* (Fig. 236) ein Punct des von einem achromatiſchen Objective gemachten Bildes, von welchem ein Strahl *Aa* auf die Collectivlinſe fällt. Durch dieſe wird er gebrochen und zugleich zerſtreut, ſo daß der violette Theil die Richtung *ac*, der rothe die Richtung *ab* erhält und daher einer die Axe früher ſchneidet als der andere. Allein wenn ſie, bevor ſie ins Auge kommen, noch durch die Linſe *O* gehen müſſen, ſo wird der violette Strahl, der ſie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linſen werden dieſe Strahlen mit einander parallel, wie *bx* und *cy*. Die ſphäriſche Abweichung des Oculars macht man dadurch unſchädlich, daß man Linſen von der beſten Form oder Planconvexlinſen, mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet und etwa ihre halbe Öffnung

mittelſt der Faſſung deckt. Übrigens iſt es klar, daß man für dasſelbe Objectiv mehrere Oculare und für dasſelbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die ſtufenweiſe mehr vergrößern. Plößl, deſſen Microſcope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht mit Vortheil als Ocular zwei achromatiſirte Linſen.

160. Das Objectiv und die Oculare müſſen in eine Röhre eingeſchloſſen ſeyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt iſt, und ihre Axen müſſen in eine gerade Linie fallen. Da wo das vom Objective gemachte Bild ſeinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerſtreute Licht abhält, ja ſogar oft einen Theil des Bildes ſelbſt hindert, die Strahlen auf das Ocular zu ſenden. Das Object wird auf einer beſonderen Unterlage an einem eigens dazu beſtimmten Tiſche angebracht, der ſich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv ſelbſt gegen denſelben beweglich iſt, um ſo das von letzterem gemachte Bild ſtets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens beleuchtet. Für durchſichtige Gegenſtände dient ein Concavſpiegel, der unter dem Tiſche nach allen Seiten beweglich angebracht iſt; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinſen oder noch beſſer eine prismatiſche Linſe, wie ſie Fig. 237 *A* darſtellt. In dieſe dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche *ab* ein, erleidet an der ebenen, mit der Faſſung belegten Fläche *ac* eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche *bc* und gelangt ſo concentrirt auf das Object *de*. Fig. 237 ſtellt ein zuſammengeſetztes Microſcop vor.

161. Bei der Beurtheilung eines Microſcopes hat man hauptſächlich auf die Reinheit und Größe des Geſichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu ſehen.

162. Das Geſichtsfeld ſoll nicht blos in der Mitte, ſondern bis auf den äußerſten Rand rein und farbenlos ſeyn und eine hinreichende Größe haben. Letztere beſtimmt man am beſten mittelſt eines hinreichend fein getheilten Micrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal überſehenen Theilungsfelder zählt.

163. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder ſchätzt man mittelſt zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als ſolche

ſind vorzüglich die oberſten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom *Papilio Crataegi* und *Brassicae* oder vom *Papilio Menelaus* oder von der Kleidermotte. Dieſe Schuppen ſind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen verſehen. Je deutlicher dieſe Linien erſcheinen und bei je geringerer Vergrößerung man ſie ſieht, deſto größer iſt die Deutlichkeit des Bildes. Die Schuppen des *Papilio Crataegi* und *Brassicae* und *Menelaus* ſollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erſcheinen, bei 100—200maliger ſoll man auch die Zwiſchenräume ſehen und den Stiel als coniſche Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die beſten Inſtrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Inſtrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es iſt überhaupt gut, irgend ein Object, deſſen Bild im Microſcope man durch öfteres Anſchauen im Gedächtniſſe hat, zur Prüfung eines Microſcopes zu wählen.

164. Die Stärke der Vergrößerung eines Microſcopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linſen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden oder durch Verſuche ausmitteln. Im erſteren Falle ſucht man die durch das Objectiv (56) und dann die durch das Ocular (155) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Microſcopes. Bei der practiſchen Beſtimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weiſe verfahren und entweder die ganze Vergrößerung auf einmal ſuchen, oder jeden der zwei Theile, aus denen ſie beſteht, beſonders beſtimmen. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt ſich auf practiſchem Wege ſo finden: Man betrachte ein Micrometer als Object und zähle, wie viele Felder ſeines Gitters man auf einmal überſieht. So vielmal nun der Durchmeſſer des überſehenen Stückes in dem Durchmeſſer des Diaphragma's enthalten iſt, ſo vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Micrometer, lege einen als Object auf den Tiſch des Inſtrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular vergrößert wird, ſo braucht man nur zu beobachten, wie viele Felder des einen in ein Feld des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Mul-

tiplication der vom Objectiv hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Inſtrumentes. Zur Beſtimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Microſcopes iſt vorzüglich das vom Freih. von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befeſtiget nämlich über dem Oculare einen kleinen Planſpiegel ſo, daß er gegen die Axe des Inſtrumentes um 45° geneigt iſt, und legt ein Micrometer als Object ein. Da ſieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber ſtehenden Wand, wenn das Microſcop vertical ſteht. Iſt dieſe Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale verſehen, ſo kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Micrometers erſcheint und durch Diviſion der ſcheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitſch. 4. 1.)

Man kann mittelſt eines Micrometers auch den Durchmeſſer kleiner Gegenſtände, die man durch das Microſcop ganz ſieht, beſtimmen, allein die dadurch erhaltenen Reſultate ſind wenig genau. Ganz Vorzügliches leiſten die zu dieſem Zwecke von dem großen Künſtler Fraunhofer und auch an Plößl's Inſtrumenten angebrachten Schraubenmicrometer, wodurch man den Durchmeſſer eines Gegenſtandes bis $^1/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beſchreibung zweier zuſammengeſetzter Microſcope. Augsburg, 1769. *Essay on the microscope by Adams. London*, 1787. Klügels Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. ſ. f. Sehr lehrreich iſt ein Aufſatz über Microſcope vom Freih. von Jacquin in Zeitſch. 5. 129.)

165. Unter den catoptriſchen Microſcopen iſt das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichſte. Es beſteht im weſentlichen aus zwei Metallſpiegeln *a* und *b* (Fig. 238), die ſich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglaſe. Der größere Spiegel iſt hohl, elliptiſch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmeſſer mit dem Rohre, befindet ſich am Ende desſelben und iſt ſo geſtellt, daß ſeine Axe mit der des Rohres zuſammenfällt. Der andere Spiegel iſt eben, ſehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohrs geneigt, ſo geſtellt, daß ſeine Mitte in dieſer Axe liegt, mit der ſpiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Öffnung im Rohre zugewendet, unter welcher ſich der Objectträger *c* befindet. Zur Beleuchtung des Gegenſtandes dienet ein Hohlſpiegel. Das wohl beleuchtete Object ſendet die Strahlen durch die

Öffnung auf den Planſpiegel, der ſie auf den elliptiſchen Hohlſpiegel zurückwirft, und dieſer macht am entgegengeſetzten Ende des Rohrs ein Bild, das man mit einem Ocularglaſe anſehen kann. Dieſes Inſtrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, ſtellt wegen Mangel der Farbenzerſtreuung die Gegenſtände ſcharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenſtände von bedeutender Größe, ſelbſt ſolche, die im Waſſer ſchwimmen, beobachten, weil ſie wenigſtens $\frac{1}{2}$ Zoll vom Körper des Inſtrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Inſtrument horizontal ſteht, und die Vergrößerung ſchnell wechſeln, ohne die Entfernung des Objectes vom Inſtrumente zu ändern, doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtſtärke erkaufen, beſonders wenn man ſtarke Vergrößerungen anbringen will. (*Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod.* 1818. Zeitſch. I. 301.)

166. Zu den Microſcopen kann man auch das Sonnen- und das Lampenmicroſcop zählen. Beide geben zwar ſehr ſtark vergrößerte, aber keineswegs deutliche Bilder; darum ſtehen ſie den vorher genannten weit nach. Das Sonnenmicroſcop beſteht aus zwei Sammelgläſern *CD* und *EF* (Fig. 239), wovon *CD* eine ſehr kurze Brennweite hat. Je mehr ein Gegenſtand *AB* dem Brennpuncte der Linſe *CD* genähert wird, deſto weiter von derſelben, mithin deſto größer, aber auch minder erleuchtet, erſcheint ſein Bild. Damit dieſes einigermaßen hell ſey, muß das Object *AB* bedeutend erleuchtet werden. Deßwegen ſtellt man es faſt in den Brennpunct der Linſe *EF* und läßt mittelſt eines beweglichen Spiegels *GH* intenſives Sonnenlicht darauf fallen. Man kann es auch für undurchſichtige, auch für ziemlich große Gegenſtände einrichten. Im letzteren Falle heißt es Megaſcop.

Von dem Sonnenmicroſcope unterſcheidet ſich das Lampenmicroſcop im Weſentlichen nur dadurch, daß es, ſtatt von der Sonne, von einer ſtarken Lampe die Beleuchtung erhält. Es hat deßhalb eine ſehr convexe Linſe *AB* (Fig. 240), welche von der Lampe *C*, die in ihrem Brennpuncte ſteht, das Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlſpiegel *D* ſendet, der ſo geneigt iſt, daß er es auf das Object *E* ſchickt und dieſes ſtark beleuchtet. Von da gelangen die Strahlen auf die ſehr convexe Linſe *F*, werden convergirend und fallen ſo auf zwei neben einander ſtehende Convexlinſen *G* und *H* auf, welche die Stelle einer einzi-

gen, ſehr convexen vertreten. Dadurch entſteht von *E* ein verkehrtes und großes Bild *IK*, das auf einer matten Glastafel aufgefangen werden kann. Für undurchſichtige Gegenſtände hat man noch eine etwas andere Vorrichtung, bei welcher die Strahlen durch ein Convexglas geſammelt werden, concentrirt auf den Gegenſtand fallen und ihn ſtark beleuchten.

Fernröhre.

167. Fernröhre (Teleſcope) braucht man, um entfernte Gegenſtände vergrößert zu ſehen. Sie werden, wie die Microſcope in dioptriſche und catoptriſche eingetheilt, d. i. in ſolche, die blos aus Linſen, und in ſolche, welche aus Linſen und Spiegeln beſtehen. Große dioptriſche pflegt man Refractoren, große catoptriſche Reflectoren zu nennen. Ein dioptriſches Inſtrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Da der Zweck der Fernröhre derſelbe iſt, wie jener der Microſcope, ſo muß in ihrer Conſtruction viel Übereinſtimmung herrſchen; allein da Microſcope zur Beſichtigung naher Gegenſtände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenſtand der Betrachtung durch Fernröhre ſind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angeſehen werden müſſen; ſo wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es ſey ein dioptriſches oder catoptriſches, muß man zwei Theile unterſcheiden, nämlich das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptriſchen iſt das Objectiv eine Convexlinſe, bei den catoptriſchen ein Hohlſpiegel.

168. Das Objectiv iſt der wichtigſte Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am ſchwerſten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen iſt. Es ſoll einen bedeutenden Durchmeſſer haben, um von jedem Puncte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasſtücke, wie ſie zu größeren Objectiven erfordert werden, ſind aber, beſonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erſcheint, ſchwer zu erhalten, und es gehört große Geſchicklichkeit dazu, großen Linſen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich ſeyn ſoll, ſo muß man die Linſe ſowohl von der chromatiſchen, als auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei machen und darum ſie durch eine Hohllinſe von

Flintglas achromatiſiren und den einzelnen Flächen dieſer Doppellinſe die Krümmungen geben, welche nöthig ſind, um die ſphäriſche Abweichung auf ein Kleinſtes zu bringen. Dieſes wird bei großen Objectiven ohne Vergleich ſchwieriger ſeyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei dieſen vernachläſſigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläſer, die Entfernung der zwei Beſtandtheile der Doppellinſe ꝛc. Man kann nicht darauf rechnen, die ſphäriſche Abweichung durch Übereinanderlegen zweier oder dreier achromatiſcher Linſen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch ſcheinen dreifache in mancher Beziehung beſondere Vorzüge zu haben. Bei jenen iſt das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich convex, das Flintglas aber nach innen und iſt convex-concav. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, ſo muß man alle Randſtrahlen durch eine Blendung abhalten und doch noch auf eine ſtarke Färbung des Bildes gefaßt ſeyn.

169. Nach Verſchiedenheit des Oculars, das man mit einem Objective verbindet, dienet das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verſchiedenen Zwecken und erhält auch verſchiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinſe und gibt ihr eine ſolche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenſtande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem Gegenſtande, der ſich in der deutlichen Sehweite befindet, ſo heißt das Inſtrument ein holländiſches oder galiläiſches. Iſt A (Fig. 241) das Objectivglas eines ſolchen Fernrohres, das von einem entfernten Gegenſtande Strahlen bekommt; ſo würde dieſes ein Bild acb geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch dieſes werden aber die Strahlen ſo gebrochen, als kämen ſie vom Bilde $a'c'b'$. Man wird daher den Gegenſtand in natürlicher Lage und deutlich ſehen. — Um die Vergrößerung dieſes Inſtrumentes zu finden, muß man den Sehwinkel, unter welchem der Gegenſtand mit dem Inſtrumente erſcheint, mit dem vergleichen, unter welchem er ohne Inſtrument geſehen wird. Iſt der Gegenſtand ſehr weit entfernt, ſo kann man annehmen, daß er unter demſelben Winkel geſehen werde, es mag das Auge ſich in oder vor dem Ocularglaſe befinden. Es iſt daher der halbe Sehwinkel ohne Inſtrument bOc, und der mit dem Inſtru-

mente kann ohne Fehler für $bO'c$ angenommen werden. Nun iſt aber

$$tang\, bOc = \frac{bc}{Oc},\quad tang\, bO'c = \frac{bc}{O'c},\quad \frac{tang\, bO'c}{tang\, bOc} = \frac{Oc}{O'c},$$

oder weil bOc und $bO'c$ nur kleine Winkel ſind

$$\frac{bO'c}{bOc} = \frac{Oc}{O'c}.$$

Wegen der ſehr großen Entfernung des Gegenſtandes vom Objectivglaſe kann Oc der Brennweite p dieſer Linſe gleich geſetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglaſes p', $O'c' = \alpha$, $O'c = a$, ſo wird wegen $\frac{1}{a} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{p'}$

$$\frac{bO'c}{bOc} = p\left(\frac{p' + \alpha}{\alpha p'}\right).$$

Iſt die Brennweite des Ocularglaſes ſehr klein gegen die deutliche Sehweite α, ſo wird aus dieſer Formel

$$\frac{bO'c}{b'Oc} = \frac{p}{p'}.$$

Die Vergrößerungszahl iſt daher unter den genannten Vorausſetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes. Ein ſolches Fernrohr hat immer nur ein ſehr kleines Geſichtsfeld, weil ſich das Auge nicht dort befinden kann, wo ſich die Axen der Strahlenkegel nach der Brechung im Oculare ſchneiden. Deßhalb kann man es nur dann zu ſtärkerer (10—30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen conſtruirt worden, wie dieſes bei Plößl's ſogenannten Feldſtechern der Fall iſt. Es bleibt zwar ſelbſt bei der Anwendung eines achromatiſchen Objectives die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerſtreuung übrig; allein dieſe bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge ſehr nahe am Ocularglaſe ſteht, wo die Strahlen nicht ſehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht einmal für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglaſes dieſer Zerſtreuung ſo zu ſteuern, wie es beim Microſcope geſchah, um ſo mehr, da die minder (2—4mal) vergrößernden Inſtrumente dieſer Art meiſtens nur als Theaterperſpective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft iſt. Man kann ein Inſtrument mit mehreren Ocularen von verſchiedener Stärke verſehen und ſie an eine Drehſcheibe befeſtigen, damit man ſie ſchnell wechſeln und ſo hinter einander mehrere (3 oder 4) verſchiedene Vergrößerungen anbringen könne.

170. Wird eine Convexlinſe zum Ocular gewählt, ſo erhält man das aſtronomiſche Fernrohr. Dieſes beſteht demnach aus einem convexen Objectivglaſe *A* (Fig. 242) und aus einem convexen Ocularglaſe *B*, die ſo geſtellt ſind, daß das von einem entfernten Gegenſtande auf *A* fallende Licht zu einem verkehrten Bilde *ab* vereinigt wird und von da aus ſo ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild *a'b'* in der deutlichen Sehweite erſcheint. Man ſieht daher den Gegenſtand verkehrt aber vergrößert. Bei einer hinlänglich großen Entfernung des Gegenſtandes kann man wieder annehmen, daß *aob* der Sehwinkel des Gegenſtandes für das freie, und *ao'b* für das bewaffnete Auge ſey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{tang\ ao'b}{tang\ aob} = \frac{oc}{o'c} \text{ oder nahe } \frac{ao'b}{aob} = \frac{oc}{o'c}.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglaſes, die man oc gleich ſetzen kann, p; die des Ocularglaſes p', $o'c = a$, $o'c' = \alpha$, ſo wird

$$\frac{ao'b}{aob} = \frac{p(\alpha - p')}{ap'},$$

oder wenn p' gegen α verſchwindet,

$$\frac{ao'b}{aob} = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes. — Dieſe Inſtrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt conſtruirt, damit ſie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man ſie anwendet, ein ſtark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerſtreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglaſes, wie bei den Microſcopen aufheben, um ſo mehr, als dadurch zugleich auch das Geſichtsfeld vergrößert wird. Nur bei ſehr ſtarken Vergrößerungen iſt man genöthigt, auf das Collectivglas zu verzichten. Es iſt übrigens für ſich klar, daß man für dasſelbe Objectiv mehrere Oculare von verſchiedener Schärfe brauchen kann. Es werden oft bei ſolchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's am Oculare feine Fadenkreuze oder Micrometer eingeſetzt, um damit Objecte meſſen zu können. Auch Rochon's Micrometer (101) läßt ſich da brauchen, es wird aber zwiſchen dem Objective und ſeinem Brennpuncte angebracht. Da ſieht man nun offenbar das Object doppelt und die zwei Bilder ſtehen deſto weiter von einander ab, je weiter das Micro-

meterprisma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt iſt, bei einem beſtimmten Stande des Prisma's werden ſich aber beide Bilder am Rande berühren und dieſer Ort wird deſto mehr von den Bildern entfernt ſeyn, je größer dieſe ſind. Daher wird man daraus auf die ſcheinbare und mittelſt bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe desſelben ſchließen können.

171. Um irdiſche Gegenſtände ſtark vergrößert und doch aufrecht zu ſehen, verbindet man mit dem Objecte ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular und nennt das daraus hervorgehende Fernrohr ein Erdfernrohr. Ein ſolches ſtellt Fig. 243 dar. Das Objectivglas *A* macht von einem hinreichend entfernten Gegenſtande ein verkehrtes Bild *ab*; von dieſem fallen die Strahlen auf das erſte Ocularglas *B*, von dieſem auf das zweite *C* und auf das dritte und vierte *D* und *E*, ſo daß hinter dem zweiten *C* ein aufrechtes Bild des Gegenſtandes entſteht, welches durch die zwei übrigen Ocularlinſen angeſehen, in der deutlichen Sehweite erſcheint. Es dienen daher die Linſen *B* und *C* zur Umkehrung des Bildes, die Linſe *D* zur Achromatiſirung des vom Oculare *E* gemachten Bildes. Die Vergrößerung hängt an einem ſolchen Inſtrumente von dem Verhältniſſe der Brennweiten der einzelnen Linſen und von ihrer gegenſeitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demſelben Inſtrumente, ohne das Oculare zu verwechſeln, mehrere Vergrößerungen hervorbringen, wenn man die Entfernung der Ocularlinſen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf man nur die Lage der drei inneren Oculare gegen einander, nicht aber die des äußerſten gegen das Auge ändern, auch wird es für dieſe nur beſtimmte Lagen geben, wo ſie ihren Dienſt nicht verſagen.

Das größte dioptriſche Fernrohr, welches bis jetzt verfertigt wurde, iſt der Fraunhofer'ſche Refractor zu Dorpat. Sein Objectiv hat 9 P. 3. Öffnung und 160 Z. Brennweite, und vergrößert mit dem ſchärfſten Oculare 600mal. Er iſt zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreiſe wie ein Fixſtern herumgetrieben wird ſo, daß, wenn einmal ein Fixſtern in das Geſichtsfeld gebracht iſt, derſelbe ſtets darin bleibt, ohne einer Beihülfe des Beobachters zu bedürfen.

172. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatiſcher Linſen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichſt freie Bilder ent-

fernter Gegenſtände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel ſtatt der Linſen. Auf dieſe Weiſe entſtanden die catoptriſchen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt ſind: nämlich das Herſchel'ſche, das Newton'ſche, das Gregory'ſche und das Caſſegrain'ſche.

173. Ein Fernrohr nach Herſchel's Art beſteht aus einem Hohlſpiegel *AB* (Fig. 244), der etwas gegen die Axe der Röhre, in der er ſich befindet, geneigt iſt, und von weit entfernten Gegenſtänden ein verkehrtes Bild *ab* in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinſe *c* anſehen kann. Solche Inſtrumente müſſen ſehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend ſey.

Das große Inſtrument, womit Herſchel einen bedeutenden Theil ſeiner ſo wichtigen Entdeckungen machte, hat einen Hohlſpiegel, deſſen Durchmeſſer 4 Fuß, deſſen Brennweite 40 Fuß beträgt, und der 25 Centner wiegt, es vergrößert 7000mal und bringt 36500mal mehr Licht ins Auge, als ohne Inſtrument von demſelben Objecte dahin gelangen würde.

174. Im Newton'ſchen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenſtande auf den großen Hohlſpiegel *AB* (Fig. 245) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen, von einem kleineren, gegen die Axe des erſteren unter 45° geneigten Planſpiegel *CD*, nach einer ſeitwärts angebrachten Convexlinſe *E* reflectirt, ſo daß das verkehrte Bild des Gegenſtandes durch *E* angeſehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenſtände verkehrt zeigt und daß man zum Aufſuchen derſelben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptriſches Fernrohr (Sucher), das mit der Axe des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

175. Das Gregory'ſche Fernrohr (Fig. 246) vereiniget durch einen Hohlſpiegel *AB* die von einem entlegenen Gegenſtande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde *ab*. Von dieſem gelangen die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlſpiegel *CD*, werden von ihm gegen den großen Spiegel reflectirt, in deſſen Mitte ſich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde *cd* vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Convexlinſe *E* angeſehen werden kann. Dieſes Inſtrument zeigt

zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt beider Spiegel ſehr an Deutlichkeit.

176. Um die große Abweichung wegen der Kugelgeſtalt, die im vorigen Inſtrumente Statt findet, zu vermindern, hat Caſſegrain ſtatt des kleineren Concavſpiegels einen kleinen Convexſpiegel angebracht. Da ſind aber die Spiegel ſo geſtellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den convexen fallen, als ſie zu einem Bilde vereiniget werden.

177. Das Ocular eines Fernrohres muß mit ſeinem Objective, es mag dieſes nun eine Linſe oder ein Spiegel ſeyn, ſo verbunden werden, daß ihre Axen in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingeſetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenſtandes angemeſſene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Inſtrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit ſie ſich zuſammenſchieben und bequem tragen laſſen. Größere kann man nicht mit Zugröhren verſehen, weil dieſe faſt nie völlig gerade ſind; ſelbſt wenige Zolle lange Zugröhren paſſen nur in einer gewiſſen Lage am beſten zuſammen, die darum oft mittelſt Sternchen bezeichnet iſt. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen verſehen. Bekommt ein ſolches Inſtrument ein Fadenkreuz, ſo muß dieſes an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Catoptriſche Inſtrumente werden faſt immer mit Metallfaſſungen verſehen und laſſen ſich nicht wohl als Taſchenfernröhre brauchen. Bei dieſen ſowohl als bei dioptriſchen Inſtrumenten muß das Ocular in Betreff der Öffnung und Brennweite zum Objective paſſen und zur Verminderung der ſphäriſchen Abweichung eine Planconvexlinſe ſeyn.

178. Ein Fernrohr iſt deſto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller ſeine Bilder ſind und je größer ſein Geſichtsfeld iſt. Jede dieſer guten Eigenſchaften läßt ſich aber nur auf Koſten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung ſteigern, ſo muß man bei demſelben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieſes muß aber eine kleinere Öffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben ſoll, und wird darum ein kleineres Geſichtsfeld gewähren. Daß das Bild

an Helligkeit verlieren müſſe, iſt für ſich klar, auch iſt es leicht einzuſehen, daß dieſe bei derſelben Vergrößerung mit der Öffnung des Objectives wachſen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem beſtimmten Objective nur eine gewiſſe Vergrößerung.

Bei Fraunhofer's Fernröhren findet folgendes Verhältniß zwiſchen der Öffnung der Objective und den Vergrößerungen, die ſie vertragen, Statt.

Öffnung des Objectives.	Vergrößerungen.
6 Z. 6 L.	aſtron. 62, 93, 140, 210, 320, 470
4 „ 4 „	aſtron. 64, 96, 144, 216, 324
	terreſt. 82, 120
4 „ — „	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270
	terreſt. 66
3 „ 7 „	aſtron. 54, 80, 120, 180, 270
	terreſt. 66
3 „ 1 „	aſtron. 64, 96, 144, 216
	terreſt. 57, 80
2 „ 10 „	aſtron. 54, 84, 126
	terreſt. 50, 70
2 „ 5 „	aſtron. 60, 90 terreſt. 42
2 „ 3 „	aſtron. 60, 90 terreſt. 40
1 „ 9 „	aſtron. 40, 60 terreſt. 28

179. Zur Prüfung eines Fernrohres taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem Grunde erſcheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtszeit. Ihr Bild muß ganz rein und ſcharf begrenzt erſcheinen, es mag in der Mitte des Geſichtsfeldes oder am Rande desſelben ſich befinden. Übrigens ſoll ein gutes Fernrohr ſo beſchaffen ſeyn, daß man durch jeden Punct des Objectives das Ocular ſieht, erſteres ſoll frei von Wellen ſeyn, wenigſtens nicht viele Blaſen und keine Farbenringe haben. Die Größe des Geſichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Geſichtswinkel des Gegenſtandes beſtimmt, den man auf einmal überſieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, ſieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenſtand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge und ſchätzt, wie viele der mit freiem Auge geſehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erſcheint, fallen.

180. Die dioptriſchen Inſtrumente haben ſchon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den catop-

triſchen einen großen Vorzug. Sollen ſie aber in ſehr großem Maßſtabe verfertiget werden, ſo findet man ein bis jetzt unüberſteigliches Hinderniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasſtücke zu erhalten, während große Hohlſpiegel ohne Vergleich leichter zu haben ſind. Amici und Herſchel d. j. haben eine Vergleichung zwiſchen einem guten catoptriſchen und einem dioptriſchen Inſtrumente angeſtellt. Nach Amici leiſtet ein achromatiſches mit der Öffnung 1 dasſelbe, was ein catoptriſches mit der Öffnung $1\frac{1}{3}$ leiſtet. Nach Herſchel iſt dieſes Verhältniß 5:6, wenn das catoptriſche nur einen Spiegel hat, hingegen 7:10, wenn es mit zwei Spiegeln verſehen iſt.

Einige minder wichtige, optiſche Inſtrumente.

181. Außer den Microſcopen und den Fernröhren ſind noch der optiſche Kaſten, die dunkle Kammer *(camera obscura)*, die helle Kammer *(camera clara)*, die lichte Kammer *(camera lucida)* und die Zauberlaterne einer beſonderen Betrachtung werth.

182. Eine Vorrichtung, wodurch große, perſpectiviſche Zeichnungen mittelſt eines Converglaſes von 1—2 Fuß Brennweite angeſehen werden, wenn ſie ein wenig innerhalb der Brennweite ſtehen, heißt ein optiſcher Kaſten und wird zu den optiſchen Inſtrumenten gezählt.

183. Die dunkle Kammer *(camera obscura)* beſteht meiſtens aus einem Kaſten, in welchem das von einer Converlinſe (am beſten von einem Concavconverglaſe) gemachte Bild entfernter Gegenſtände, nachdem man ihm durch einen Spiegel eine bequeme Lage gegeben hat, auf einer weißen Fläche angeſehen werden kann. Fig. 247 ſtellt ein ſolches Inſtrument vor, wo *A* die Linſe, *B* der Spiegel iſt, der dem Bilde, welches auf der Platte *C* erſcheint, die gehörige Lage gibt. Fig. 248 ſtellt ein anders eingerichtetes Inſtrument dieſer Art vor. Man benützt es vorzüglich zum Copiren entfernter Gegenſtände. — Iſt die Linſe bei der dunklen Kammer an der Vorderſeite eines Kaſtens befeſtiget und dieſer gegenüber ein Spiegel unter 45° gegen die Are des Glaſes geneigt, ſo daß die von der Linſe gemachten Bilder in die Nähe des Deckels reflectirt werden, wo man ſie mit einer zweiten Converlinſe anſieht; ſo heißt die Vorrichtung eine helle Kammer *(camera clara)*.

Chevalier erſetzt Linſe und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 249 einen Durchſchnitt angibt, und welches an der Fläche *AB* eben, an der Fläche *AC* convex, an *BC* hingegen concav iſt. Fallen nun von einem fernen Gegenſtande Strahlen auf *AC*, ſo werden ſie wie in einer Linſe gebrochen, und an *AB* ſo reflectirt, daß ſie durch *CB* hervorkommen, und in *D* ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben.

184. Zu demſelben Zwecke dient auch die ſogenannte *camera lucida.* Sie beſteht aus einem Glasprisma *ABDC* (Fig. 250), welches man mit den gehörigen Winkeln dadurch erhält, daß man mit dem Halbmeſſer *AB* den Quadranten *AD* beſchreibt, ihn in *C* in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen *AC* und *CD* zieht. Das Viereck *ABDC* gibt dann den ſenkrechten Durchſchnitt des gläſernen Prisma's, das hinreichend groß iſt, wenn die Höhe $BA = \frac{1}{2}$ Z. und die Länge 1 Z. beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche *AB* wird mit einer geſchwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausſchnitt hat, um das Licht durchzulaſſen; das Ganze iſt mit einem Poſtamente verſehen, wie Fig. 251 zeigt. Iſt *S* ein leuchtender Gegenſtand, der Licht auf *CD* ſendet, ſo wird davon ein Theil nach *AC* und von da nach *G* reflectirt, ſo daß er in das in *G* befindliche Auge kommt. Man ſieht daher *S* in *s*. Befindet ſich nun in *s* ein weißes Papier, ſo kann wegen der Kleinheit des Inſtrumentes auch von dieſem Licht ins Auge kommen, und man wird zugleich den Gegenſtand *S* und das Papier, und zwar jenen auf dieſem ſo ſehen, daß man ihn nachzeichnen kann. Dieſes artige Inſtrument erfand Wollaſton. Ein ſehr kleiner Planſpiegel leiſtet dieſelben Dienſte, wie die *camera lucida.*

Amici hat dieſem Inſtrumente folgende ſehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: *ab* (Fig. 251*) iſt ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, *cd* ein metallener Planſpiegel, der gegen *ab* um 135° geneigt iſt. Sendet nun ein leuchtender Punct *S* Strahlen auf *cd*, ſo werden ſie in *A* reflectirt, gelangen auf *B*, wo ſie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge *C* kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Puncte *D*, wo man *S* ſieht, und man kann daher daſelbſt leicht das Bild von *S* nachzeichnen.

185. Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig. 253). Sie beſteht aus zwei Sammelgläſern *A* und *B*. Vor dem erſten, aber innerhalb ſeiner Brennweite, ſteht ein transparentes, auf Glas gemahltes Bild *C*, wel-

ches von einer ſtarken Flamme *a*, mittelſt eines Beleuchtungsſpiegels *D* erhellet wird. Das zweite Glas ſteht ſo, daß es ein großes Bild *EF* des Gegenſtandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Iſt dieſe Wand durchſcheinend, ſo kann man hinter ihr die Bilder der Gegenſtände vergrößert ſehen, und auf dieſe Weiſe ſehr impoſante Phänomene hervorbringen, die in das Gebiet der Phantasmagorie gehören.

Über optiſche Inſtrumente ſiehe: Suppl. S. 576 u. f. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 158—251. Practiſche Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematiſche Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitſch. 3. 129. 285; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. *Theorica degli stromenti ottici di J. Santini.* 2 *Tom. Padova*, 1828. — Über dieſen Abſchnitt überhaupt ſiehe: *Newtoni optica. Lond.* 1729. 4. Smith vollſtändiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. *R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano*, 1785. *Nuovo trattato d'ottica di L. Nobili. Milano*, 1820. 8. *An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambrigde*, 1823. 8. *Herschel on light. London*, 1830. Suppl. 377—645. Prieſtley's Geſchichte der Optik. Leipzig, 1776. 4.

Zweiter Abſchnitt.

Wärme.

Erſtes Kapitel.

Von der Wärme überhaupt.

186. So wie das Ohr durch den Schall, das Auge durch das Licht afficirt wird, eben ſo wird das Gemeingefühl durch die Wärme angeregt. So wie wir die durch Vibrationen im Ohre erregten Empfindungen von der objectiven Urſache derſelben unterſcheiden, aber doch beide mit dem Worte Schall bezeichnen, eben ſo bezeichnen wir die Wärmeempfindung und ihren objectiven Grund mit demſelben Worte. Hitze iſt eine geſteigerte Wärmeempfindung, Kälte verhält ſich zur Wärme wie Finſterniß zum Lichte. Warm erſcheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der ſie uns entreißt. Darum kann uns derſelbe Körper bald warm, bald kalt erſcheinen. Taucht man die Hand in kaltes Waſſer, ſo erſcheint uns dieſes anfangs kälter als nach einiger Zeit, taucht man ſie in warmes, ſo finden wir auch dieſes anfangs am wärmſten; weil uns anfangs vom kalten Waſſer am meiſten Wärme entriſſen, vom warmen aber am meiſten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Waſſer, hierauf aber beide in laues; ſo hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der anderen für kalt. Den wahren Wärmezuſtand, d. h. die Temperatur eines Körpers erfährt man bekanntlich durch das Thermometer. Ob es einen Körper gebe oder geben könne, der gar keine Wärme enthält, deſſen Temperatur alſo dem Nullpuncte der natürlichen Thermometerſcale entſpricht, wiſſen wir nicht.

187. Bekanntlich wirkt die Wärme nicht blos auf unſer Gemeingefühl, ſondern auch auf alle anderen Körper, vergrößert ihr Volumen und ändert ihren Aggregationszuſtand; ja vielleicht iſt

die Empfindung der Wärme ſelbſt nur das unmittelbare Reſultat der Ausdehnung unſerer Organe. Die Wärme läßt ſich durch keinen Körper hemmen, ſie durchdringt alles wie die Schwere, bewegt ſich nach eigenen Geſetzen und ſetzt ſich auch nach eigenen Geſetzen ins Gleichgewicht.

188. Über die Natur des Wärmeprincipes ſind nicht alle Phyſiker derſelben Meinung. Nach einigen iſt es die zum Weſen der Körper gehörige abſtoßende Kraft, nach anderen beſteht es in einer vibrirenden Bewegung der kleinſten Theile der Körper, die Mehrzahl ſieht es aber als einen eigenen Stoff an, den ſie Wärmeſtoff (*Caloricum*) nennt und mit allen jenen Eigenſchaften ausrüſtet, welche zur Erklärung der Wärmephänomene nothwendig ſind. Demnach wird er als eine eigene, feine, ausdehnſame Flüſſigkeit characteriſirt, die ſich mit den Körpern verbindet, durch ihre Expanſivkraft auf ſie wirkt, aber immer nach Gleichgewicht trachtet. Wir wollen vor der Hand die Frage über die Natur des Wärmeprincipes ganz beſeitigen und die objective Urſache aller Wärmeerſcheinungen, Wärme nennen. Die Ausdrücke: Wärmemenge, Mittheilung, Bewegung der Wärme ꝛc., deren wir uns in der Folge bedienen werden, ſind vor der Hand nur bildliche Bezeichnungen der Affection eines uns unbekannten Weſens und werden leicht ihre eigentliche Bedeutung finden, wenn entſchieden ſeyn wird, welche der vorhergehenden Hypotheſen ins Reich der Wahrheit verſetzt zu werden verdiene.

Zweites Kapitel.

Geſetze der Bewegung der Wärme.

189. Schon der Umſtand, daß derſelbe Körper verſchiedene Temperaturen annimmt, beweiſet, daß die Wärme in Körpern ab- und zufließe, mithin ſich bewege. Aber dieſe Wärme, welche die Temperatur der Körper beſtimmt, iſt mit ihnen innigſt verbunden und bewegt ſich in ihrem Inneren. Die Wärme kann aber auch für ſich, ohne mit einem Stoffe in Verbindung zu ſeyn, exiſtiren; denn die Erfahrung lehrt, daß ſie die Körper verläßt und ſich im leeren Raume und in der Luft, wie das Licht, fort bewegt. Man ſtellt ſich vor, dieſe Fortpflanzung erfolge in Strahlen, wie beim Lichte, und nennt darum dieſe Wärme ſtrahlende Wärme.

190. Zur Feſtſtellung der Geſetze, nach denen ſich die ſtrahlende Wärme fortpflanzt, bedarf man eines beſonderen Inſtrumentes, das man Differenzial=Thermometer nennt, weil es nicht die Temperaturen, ſondern den Temperaturunterſchied zweier Orte in der Luft anzeigt. Rumford's Differenzial=Thermometer (Thermoſcop) beſteht aus einer Glasröhre, die an beiden Enden unter einem rechten Winkel gebogen und mit Kugeln verſehen iſt, wie Fig. 253 *a* zeigt. Im mittleren Theile der Röhre befindet ſich eine kurze Säule einer gefärbten Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure. Iſt die Luft in beiden Kugeln gleich warm, ſo bleibt die Flüſſigkeit ruhig ſtehen; ſobald aber eine der Kugeln nur im mindeſten mehr erwärmt iſt, als die andere, bewegt ſich die Flüſſigkeit gegen die kältere Kugel hin. Leslie's Differenzial=Thermometer unterſcheidet ſich vom vorigen nur dadurch, daß die Zwiſchenröhre kürzer iſt und daß es deßhalb ausſieht, wie Fig. 253 *b* nachweiſet. Eine Scale an einem Arme gibt die Temperaturdifferenz beider Kugeln nach Graden des gewöhnlichen Thermometers an. Erſetzt man die gläſernen Kugeln durch große Metallgefäße mit ſehr dünnen Wänden, ſo erhält man ein noch empfindlicheres Inſtrument, wie es Ritchie empfohlen hat. Nimmt man in einem jener Inſtrumente ſtatt Luft Dünſte von Alkohol oder Äther, ſo erhält man das von Schmidt und ſpäter wieder von Howard angegebene Differenzial=Thermometer, welches viel empfindlicher iſt als alle vorhergehenden, weil durch Erwärmung einer Kugel nicht blos der bereits vorhandene Dunſt ausdehnſamer wird, ſondern zugleich neue Dünſte entſtehen. Dieſes Inſtrument läßt ſich aber nicht wie ein gewöhnliches Thermometer graduiren, ſondern gibt blos die Wärmeveränderungen im Allgemeinen an.

191. Um ſich vom Ausſtrahlen der Wärme zu überzeugen, bringe man einen erwärmten Körper, z. B. ein Stück heißes Metall oder ein Gefäß mit heißem Waſſer in die Nähe eines Differenzial=Thermometers und ſchütze eine Kugel deſſelben vor dem heißen Körper durch einen undurchſichtigen Schirm. Man bemerkt alſogleich, daß die freie Kugel mehr als die andere erwärmt werde. Da dieſes unter allen Umſtänden geſchieht, ſelbſt wenn ſich das Thermometer unterhalb des warmen Körpers befindet und Luftſtrömungen die genannte Wirkung nicht hervorbringen können, ſo muß man wohl annehmen, die Wärme gelange durch die Luft auf das Thermometer, ohne ſie zu erwärmen. Auch der Umſtand, daß eine

erwärmte Thermometerkugel im luftleeren Raume viel ſchneller erkaltet, als dieſes bei der bloßen Fortpflanzung der Wärme durch das Glas erfolgen könnte, beweiſet, daß die Wärme die Kugel verlaſſe und durch den leeren Raum zu dem Gefäße übergehe, worin die Leere gebildet iſt. Das ſogenannte Spuken ſtark geheizter Öfen iſt das Werk der ſtrahlenden Wärme; denn rührte dieſes von der erhitzten Luft her, ſo könnte es nicht durch einen Schirm abgehalten werden, wie es doch der Fall iſt.

192. Die ſtrahlende Wärme geht geradlinig, ohne merkliche Schwächung durch die Luft, wird durch ihre Bewegung nicht merklich geſtört und pflanzt ſich mit einer ungemein großen Geſchwindigkeit fort, deren eigentliche Größe bisher noch gar nicht gemeſſen werden konnte. Die geradlinige Fortpflanzung der ſtrahlenden Wärme iſt daraus abzunehmen, daß eine Kugel des Differenzial-Thermometers gegen die Einwirkung eines erhitzten Körpers durch einen metallenen Schirm vollkommen geſchützt wird, deſſen Größe und Geſtalt gerade ſo angeordnet iſt, daß er nur die geradlinig ausfahrenden Strahlen abzuhalten vermag. Die ungeheure Geſchwindigkeit, mit der die Wärmeſtrahlen die Luft durcheilen, beweiſen viele Erfahrungen. Bringt man einen erwärmten Körper in die Nähe eines empfindlichen Thermometers, ſo ſteigt dieſes augenblicklich, ja auch durch das Gefühl verräth ſich die Nähe eines ſolchen Körpers in einem Momente, ſelbſt in Fällen, wo an eine Mittheilung der Wärme durch die Luft gar nicht gedacht werden kann. Feſte und tropfbare, durchſichtige Körper halten die Wärmeſtrahlen entweder ganz oder zum Theile auf. Diejenigen Strahlen, welche ſolche Körper durchdringen, werden wie das Licht beim Durchgange gebrochen, ſind aber etwas weniger brechbar als das Licht.

Nach Laroche hält Glas $\frac{17}{18}$ von den Wärmeſtrahlen auf, welche von einem bis 180° erhitzten Körper kommen, aber nur $\frac{6}{7}$ von denen, welche ein bis 400° erhitzter ausſendet, und endlich gar nur $\frac{1}{2}$ von denen, welche die Flamme einer Lampe liefert. Wärmeſtrahlen, die ſchon einmal durch einen Glasſchirm gegangen ſind, durchdringen leichter einen zweiten und dritten ꝛc. Die Verſuche Delaroche's beſtätiget im Allgemeinen Ritchie und zeigt überdieß, daß die Wärmeſtrahlen einer, bis zur Dunkelrothglühhitze erwärmten, eiſernen Kugel auch durch dünne Schichten von Eiweiß gehen. (Zeitſch. 3. 474.) Nach desſelben Verſuchen nimmt die Intenſität der Wärmeſtrahlen, die von einem Puncte ausgehen, in der Luft ab, wie das Quadrat der Entfernung wächſt.

193. Wärmeſtrahlen, die ein Körper nicht durchläßt, werden zum Theile von ihm abſorbirt und erwärmen ihn, zum Theile werden ſie aber reflectirt. Von der Abſorption zeugen alle Phänomene, aus denen man auf das Daſeyn der ſtrahlenden Wärme ſchließt (191). Von der Reflexion überzeugt man ſich leicht mittelſt eines metallenen Hohlſpiegels. Stellt man ein Thermometer mit der Kugel in den Brennpunct desſelben und bringt in einige Entfernung davon einen erwärmten Körper, der ſeine Strahlen auf den Spiegel ſchicken kann; ſo bemerkt man alſogleich eine Erhöhung der Temperatur im Brennpuncte, zum Beweiſe, daß ſich dort die Wärmeſtrahlen vereiniget haben und daß ſie daher vom Spiegel zurückgeworfen worden ſeyen. Stellt man zwei ſolche Spiegel gegen einander (Fig. 254) und bringt in den Brennpunct des einen den erwärmten Körper, in den des anderen eine Kugel des Thermometers; ſo wird auch da eine Temperaturerhöhung wahrgenommen, welches nur durch Reflexion der Wärme in beiden Spiegeln erklärt werden kann. Weil ſich die Wärmeſtrahlen in demſelben Brennpuncte der Hohlſpiegel vereinigen, in welchem die Lichtſtrahlen ſich ſchneiden; ſo muß auch für erſtere der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ſeyn. Nach Laroche ſollen auch Wärmeſtrahlen, die unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation reflectirt wurden, ſich beim Auffallen auf einen zweiten Spiegel, wie polariſirte Lichtſtrahlen verhalten und ſelbſt polariſirt ſeyn, doch hat man dieſes bei den neueſten Verſuchen nicht beſtätiget gefunden. (Pogg. Ann. 21. 311.) Ein Wärmeſtrahl wird ſo wie ein Licht- und Schallſtrahl an der Grenze zweier Mittel in zwei Theile zerlegt, wovon einer reflectirt, der andere abſorbirt oder durchgelaſſen wird.

194. Nach dem Vorausgegangenen muß man in Betreff des Verhaltens der Körper zur ſtrahlenden Wärme ein dreifaches Vermögen unterſcheiden, nämlich: das Strahlungs- oder Emiſſionsvermögen, das Abſorptions- und das Reflexionsvermögen. Wir wollen jedes einzelne näher betrachten.

195. Das Strahlungsvermögen eines Körpers hängt von ſeiner Temperatur und von der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche ab. Je höher ſeine Temperatur iſt, deſto mehr und deſto intenſivere Wärmeſtrahlen ſendet er aus, aber bei derſelben Temperatur ſtrahlen Körper, die mit metalliſcher Oberfläche verſehen ſind, weniger Wärme aus, als andere, und ſolche, deren Oberfläche glatt

und polirt iſt, überhaupt weniger als jene, die eine rauhe Oberfläche haben, wahrſcheinlich weil mit der Rauheit der Oberfläche die Anzahl der Ausſtrahlungspuncte zunimmt. Die Härte der Oberfläche und ihre Farbe ſcheint darauf keinen Einfluß zu haben. Den großen Einfluß der Beſchaffenheit der Oberfläche beweiſet vorzüglich ein ſchöner Verſuch, der von Leslie herrührt. Man nehme einen hohlen Würfel von Eiſenblech, der auf einer Seite polirt, auf der zweiten mit einer Glasplatte bedeckt, auf der dritten matt geſchliffen, auf der vierten berußt iſt, und ſtelle ihn einem Hohlſpiegel gegenüber, in deſſen Brennpuncte ſich ein empfindliches Thermometer befindet. Wendet man nun die polirte Seite des Würfels gegen den Spiegel, ſo bemerkt man ein Steigen der Flüſſigkeit im Thermometer. Iſt ſie zum Stillſtehen gekommen, ſo ſteigt ſie alſogleich von Neuem, wenn man den Würfel mit der Glasſeite gegen den Spiegel kehrt. Noch beträchtlicher ſteigt ſie, wenn man die matte, und noch mehr, wenn man die ſchwarze Seite des Würfels dem Spiegel zuwendet. Auf ähnliche Weiſe hat Leslie den Einfluß der Politur der Oberfläche kennen gelehrt. Er überzog einen hohlen Würfel mit blankem Zinnblech und fand ſeine Wirkung auf ein im Brennpuncte eines Hohlſpiegels ſtehendes Thermometer = 12. Ritzte er das Zinn der Länge nach, ſo zeigte ſich ſein Strahlungsvermögen = 19, that er dasſelbe auch nach der Quere, ſo wurde es auf 23 geſteigert und endlich gar auf 26, als er auch Striche nach vielen anderen Richtungen gezogen hatte. — Aus dem Geſetze, daß ein Körper bei übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr Wärme ausſendet, je höher ſeine Temperatur iſt, läßt es ſich leicht begreifen, daß von zwei Körpern von ungleicher Temperatur durch bloßen Austauſch der Wärmeſtrahlen der wärmere erkalten, der kältere erwärmet werden müſſe. Darauf beruht die ſcheinbare Reflexion der Kälte durch Hohlſpiegel, die Erkaltung eines Thermometers, deſſen Kugel im Brennpuncte eines gegen den heiteren Himmel gekehrten Hohlſpiegels eine Nacht hindurch ſteht ꝛc. Zwiſchen Körpern von derſelben Temperatur herrſcht ein ähnlicher Austauſch der Wärmeſtrahlen, wie zwiſchen ſolchen von ungleicher Temperatur, nur ſendet jeder derſelben eben ſo viel Wärme aus, als er empfängt; das Gleichgewicht der Wärme iſt darum von anderer Art, als das bisher betrachtete; man nennt es ein bewegliches Gleichgewicht.

196. Die Wärmeſtrahlen, welche ein Körper ausſendet, kom-

men nicht nur von ſeiner Oberfläche, ſondern auch aus ſeinem Inneren. Davon überzeugte ſich Leslie auf folgende Art: Er überzog einen blanken Spiegel, deſſen Strahlungsvermögen er kannte, mit einer Leimſchichte von beſtimmter Dicke und unterſuchte hierauf ſein Strahlungsvermögen, trug dann eine zweite, dritte ꝛc. Schichte auf und nahm die Beſtimmung des Strahlungsvermögens nach jeder dieſer Operationen von Neuem vor. Die erſte Leimſchichte ſetzte das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $\frac{1}{5}$ herab, jedes folgende Auftragen einer neuen Schichte erhöhte aber dieſes Vermögen und als der ganze Überzug $\frac{2}{100}$ Z. Dicke hatte, war das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $\frac{4}{5}$ ſeiner urſprünglichen Kraft erhöht. Es ſind daher dünne Schichten der Körper eben ſo für die von Innen herkommenden Wärmeſtrahlen durchgängig, wie ſie es für Lichtſtrahlen ſind.

197. Es haben nicht alle Strahlen, die von demſelben Puncte ausfahren, einerlei Intenſität, ſondern dieſe iſt bei den ſenkrecht gegen die ſtrahlende Fläche ausgehenden am größten, bei den ſchief gegen ſie ausfahrenden deſto kleiner, je mehr ſie gegen die ausſtrahlende Fläche geneigt ſind. Eine warme Kugel, deren Strahlen durch eine an einem Schirme angebrachte Öffnung auf ein Thermometer gelangen, bewirkt an demſelben kein ſtärkeres Steigen, als eine ebene Scheibe von demſelben Durchmeſſer und derſelben Beſchaffenheit der Oberfläche, wiewohl die erſtere bei ihrer viel größeren Oberfläche mehr Wärmeſtrahlen, aber darunter viele ſehr ſchief ausfahrende, auf das Thermometer ſendet. Man kann auch beweiſen, daß ihre Intenſität mit dem Coſinus des Ausſtrahlungswinkels im verkehrten Verhältniſſe ſtehe.

198. Die Erfahrung lehrt, daß ſich in jedem Syſteme von Körpern, die ſich gegenſeitig Wärme zuſenden können, eine bleibende Gleichheit der Temperatur herſtelle, die Oberflächen dieſer Körper mögen wie immer beſchaffen ſeyn. Da nun diejenigen, welche ein größeres Strahlungsvermögen beſitzen, auch offenbar mehr Wärme von andern aufnehmen müſſen, um jenes Gleichgewicht möglich zu machen; ſo muß das Abſorptionsvermögen deſto größer ſeyn, je größer das Emiſſionsvermögen iſt, und von denſelben Umſtänden abhängen, wie dieſes. Leslie hat die Gleichheit dieſer zwei Vermögen auch durch einen directen Verſuch erwieſen. Da ein Körper von den ihn treffenden Wärmeſtrahlen offenbar jenen Theil reflectirt, welchen er nicht aufnimmt, ſo muß

ſein Reflexionsvermögen mit ſeinem Abſorptionsvermögen im verkehrten Verhältniſſe ſtehen und durch alle jene Umſtände vergrößert werden, welche dieſes verkleinern und umgekehrt.

Leslie fand folgende Werthe für das Strahlungs- und Abſorptionsvermögen der nachſtehenden Körper: Lampenruß = 100; Waſſer = 100; Schreibpapier = 98; Glas = 90; Tuſchmaſſe = 88; Eis = 85; mattes Blei = 45; Queckſilber = 20; glänzendes Blei = 19; polirtes Eiſen = 15; polirtes Zinn = 15; polirtes Gold, Silber, Kupfer = 12; Graphit = 75; Mennig mit Hauſenblaſe aufgetragen = 80; Crownglas = 90; Siegellack = 95; harziger Überzug = 95. Das Reflexionsvermögen fand derſelbe Gelehrte wie folgt: Meſſing und Bronze = 100; Silber = 90; Stanniol = 80; Stahl = 70; Blei = 60; Zinnamalgam = 10; Glas = 10; geöhltes Papier = 5. Von der Gleichheit des Strahlungs- und Abſorptionsvermögens kann man ſich auf folgende Weiſe überzeugen: Man ſtelle in den Brennpunct eines Hohlſpiegels die gläſerne Kugel eines Thermometers, und halte dem Spiegel gegenüber eine warme geſchwärzte Zinnplatte von beſtimmter Temperatur. Ihre Wirkung auf das Thermometer ſey = 100. Nun ſetze man an die Stelle dieſer Platte eine blanke Zinntafel von derſelben Temperatur. Ihre Wirkung mag = 12 ſeyn, ſo daß ſich das Strahlungsvermögen beider zu einander verhält wie 100 : 12. Hierauf bringe man in den Brennpunct des Spiegels ein Thermometer mit zinnerner Kugel und beobachte die Wirkung der geſchwärzten Fläche auf ſie. Sie ſey = 2.5. Wird nun die Wirkung derſelben Fläche auf die geſchwärzte zinnerne Kugel eines Thermometers unterſucht, ſo findet man eine Zahl, die ſich zu 2.5 ſo verhält wie 100:12, in unſerem Falle 20. Beide Wirkungen der Oberfläche auf die ſtrahlende Wärme zeigt recht auffallend folgender Verſuch: Nimmt man eine Glastafel, belegt eine ihrer Seiten zur Hälfte mit Zinnfolio, und hält ſie mit der zum Theile bekleideten Seite an ein Feuer, berührt dann die hintere Seite mit der Hand; ſo fühlt man hinter der Metallbekleidung kaum einige Erwärmung, während dieſe hinter dem freien Theile ſehr merklich iſt. Wendet man aber die unbedeckte Seite der Tafel gegen das Feuer und berührt ſie an der Metallſeite mit der Hand, ſo iſt die Wirkung gerade umgekehrt.

199. Das Verhältniß des Strahlungsvermögens eines Körpers zu ſeinem Abſorptions- und Reflexionsvermögen und der Einfluß der Oberfläche der Körper auf dasſelbe ſind in practiſcher und theoretiſcher Hinſicht gleich wichtig. Sie geben uns den nützlichen Wink, Körper, welche die Wärme zurückhalten ſollen, wie z. B. Dampfcylinder, Wärmeleitungsröhren, Feuerſchirme mit polirter, am beſten metalliſcher Oberfläche zu verſehen. Es beruht auf dieſem

Grundſatze auch der Gebrauch eines Differenzial-Thermometers, wovon eine Kugel verſilbert iſt, als Pyroſcop, d. i. als Meßinſtrument für die ſtrahlende Wärme. Weil nämlich die Wärmeſtrahlen von der metalliſchen Oberfläche eines ſo adjuſtirten Differenzial-Thermometers reflectirt werden, während ſie auf die unbedeckte Kugel frei einwirken und die Flüſſigkeit im Inſtrumente in Bewegung ſetzen; ſo wird man aus der Bewegung der Flüſſigkeit in dieſem Inſtrumente auf die dasſelbe treffenden Wärmeſtrahlen ſchließen können. Man erklärt ſich daraus auch den Nutzen der ſchwarzen Farbe der Menſchen im heißen Klima und die wohlthätige Einrichtung der Natur, daß ſich bei großer Hitze auf ihrer Haut eine glänzende Flüſſigkeit ausſcheidet; warum Flüſſigkeiten in alten (berußten), am Feuer ſtehenden Töpfen früher kochen, als in neuen; die wohlthätige Einrichtung, daß die aufwärts gekehrte Seite der Blätter bei Pflanzen meiſtens glänzender, als die der Erde zugewendete iſt; die erquickende Kühle im Freien, zur Zeit, wo es in Städten erſtickend heiß iſt; die geringe Abkühlung der Luft in Städten während der Nacht und viele andere Erſcheinungen, welche in die Meteorologie gehören. Auch die oben erwähnte Spaltung eines Wärmeſtrahles beim Übergange von einem Mittel in ein anderes iſt unzähliger Anwendungen fähig. Auf ihr beruht der Nutzen der Doppelfenſter, Doppelthüren, der weiten Kleider, die ſchlechte Leitungsfähigkeit der Pelzwerke, Federn, des Schnees ꝛc., bei denen ein Wärmeſtrahl unzählige Reflexionen erleidet.

200. Die Wärme, welche in das Innere eines Körpers eingedrungen iſt, ſucht ſich darin ſo zu vertheilen, daß alle Puncte dieſelbe Temperatur haben. Die Geſchwindigkeit, womit ſich die Wärme im Inneren eines Körpers fortpflanzt, iſt der Maßſtab für die innere Leitungsfähigkeit desſelben, und man nennt denjenigen einen beſſeren Leiter, deſſen innere Leitungsfähigkeit größer iſt. Überhaupt pflegt man einen Körper, deſſen Leitungsfähigkeit gering iſt, einen ſchlechten, und einen ſolchen, deſſen Leitungsfähigkeit groß iſt, einen guten Leiter der Wärme zu nennen. Erſtere heißen auch oft, wiewohl unrichtig, Nichtleiter. Man ſieht zugleich, daß die oberflächliche Leitungsfähigkeit eines Körpers von ſeiner inneren wohl unterſchieden werden müſſe.

201. Die innere Fortpflanzung der Wärme wird durch den Aggregationszuſtand der Körper modificirt. In feſten Körpern geht die Wärme von einem Theilchen, welches unmittel-

bar von der Wärmequelle erwärmt wurde, in das zunächſt daran grenzende, von dieſem in das folgende u. ſ. w., bis ſie im ganzen Körper ins Gleichgewicht gekommen iſt. Verſuche über die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wärme in feſten Körpern fordern ungemeine Vorſichten und eine ſehr große Genauigkeit; ein Umſtand, der macht, daß man noch keineswegs die verſchiedenen Körper nach ihrer Leitungsfähigkeit im angegebenen Sinne zu ordnen im Stande iſt. Franklin und Inghenhouß unterſuchten die Erwärmungsgeſchwindigkeit der Metalle, indem ſie gleich dicke und gleich lange Metalldrähte, wie die Zähne eines Kammes, an ein Holzſtück befeſtigten, ſie gleichförmig mit Wachs überzogen, dann ſenkrecht mit dem freien Ende in heißes Leinöhl tauchten und aus der Höhe, bis zu welcher das Wachs in derſelben Zeit an verſchiedenen Metallen ſchmolz, auf ihre Leitungsfähigkeit ſchloſſen. Anders verfuhr Desprez. Er gab den zu unterſuchenden Körpern die Geſtalt gleicher Prismen, überzog ihre Oberfläche mit einer Schichte eines ſchwarzen Firniſſes, um ihnen ein gleiches Strahlungsvermögen zu ertheilen, verſah ſie an verſchiedenen Puncten mit Löchern, die bis in die Mitte der Maſſe reichten, ſtellte Thermometer darein, füllte die Zwiſchenräume mit Queckſilber oder Öhl aus und erwärmte ſie mittelſt Lampen, die ſo angebracht waren, daß das der Wärmequelle nächſte Thermometer eine beſtimmte Temperatur angab. Wurde nun der Wärmegrad beobachtet, den jedes Thermometer, wenn es einen ſtationären Stand erreicht hatte, zeigte; ſo konnte man daraus und aus der Temperatur der Luft die Verhältniſſe der Leitungsfähigkeit berechnen. Man kann die Folge von Metallſtücken in Betreff ihrer Wärmeleitung ſchon durch die bloße Empfindung beſtimmen, wenn man ſie mit einem Ende einer beſtimmten Wärmequelle ausſetzt und das andere Ende mit der Hand berührt. (Pogg. Ann. 19. 507.)

Auf obige Weiſe fanden Franklin und Ingenhouß, daß die Metalle, vom beſten Leiter angefangen, ſo auf einander folgen: Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Eiſen, Stahl, Blei. Nach Fiſcher iſt die durch ſeine Verſuche beſtimmte Ordnung der Metalle folgende: Silber, Kupfer, Gold (nicht ganz rein), Palladium, Platin. Desprez fand das Leitungsvermögen folgender Körper von der ihnen beigeſetzten Größe: Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898.2, Eiſen 374.3, Zink 368.0, Zinn 303.9, Blei 179.6, Marmor 23.6, Porcellan 12.2. Muncke's Verſuchen zu Folge nimmt die Leitungsfähigkeit ab, wenn die Temperatur ſteigt. Nach

ihm iſt bei mittleren Temperaturen, die Leitungsfähigkeit des Glaſes = 1 geſetzt, die des Holzes = 0.6756, jene des gebrannten Thons = 0.9334. Es bedarf keiner künſtlich angeſtellten Verſuche, um ſich zu überzeugen, daß die Metalle zu den beſſeren, die Erdarten, Glas, Aſche, Kohle, Holz, Wolle, Seide ꝛc. zu den ſchlechteren Leitern gehören. Übrigens iſt es ſehr wahrſcheinlich, daß die innere Fortpflanzung der Wärme auch durch Strahlung vor ſich gehe und daß eine Maſſe im Inneren deſto beſſer leite, je homogener ſie iſt und je weniger ſie von Zwiſchenräumen unterbrochen wird. Aus der verſchiedenen Leitungsfähigkeit feſter Körper erklärt man mit Leichtigkeit das Warmhalten unſerer Kleider; warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Froſt geſichert werden; warum hölzerne Stuben wärmer ſind, als gemauerte; warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen verſieht; warum man auf hölzernen Böden wärmer ſteht, als auf ſteinernen; warum Reiter durch die Steigbügel im Winter ſo viel Kälte zu leiden haben; warum man im Winter wohl Holz, aber nicht Eiſen oder ein anderes Metall mit der Zunge ungeſtraft berühren darf. Hierauf beruhet auch die zweckmäßige Einrichtung unſerer Öfen und Kochgefäße nach Rumford's Angabe. (Deſſen ſchöne Verſuche ſind in Gilb. Ann. Bd. 4 und in ſeinen kleinen Schriften, Weimar 1805, zu finden.)

202. Bei tropfbar flüſſigen Körpern iſt die Fortpflanzung der Wärme verſchieden, je nachdem die Erwärmung von Oben oder von Unten Statt findet. Wird die Erwärmung von Oben veranſtaltet, ſo geht die Fortpflanzung der Wärme in ihnen ſo vor ſich, wie in feſten Körpern, und da bewähren ſich tropfbare Flüſſigkeiten durchaus als ſchlechte Wärmeleiter; geſchieht aber die Erwärmung von Unten, ſo ſteigen die bereits erwärmten Theile wegen ihres kleineren ſpecifiſchen Gewichtes in die Höhe und machen kälteren Platz. Es entſteht daher eine Strömung in der Flüſſigkeit, welche die Erwärmung bedeutend beſchleunigt. Man kann ſie ſichtbar darſtellen, wenn man nach Rumford's Anleitung fein zertheilten Bernſtein in Waſſer gibt und dieſes dann erwärmt; da ſieht man die Bernſteinſtücke im Inneren der Maſſe aufwärts, in der Nähe der Wände aber abwärts ziehen.

203. Bei ausdehnſamen Flüſſigkeiten iſt die unmittelbare Mittheilung der Wärme zwar nicht factiſch nachgewieſen, man kann ſie aber der Analogie nach vorausſetzen. Die Fortpflanzung der Wärme durch das Aufſteigen der erwärmten Theile iſt aber in einem noch ſtärkeren Grade, als bei tropfbaren Flüſſigkeiten vorhanden.

Die Fortpflanzung der Wärme durch Strömungen lehrt, daß man Flüſſigkeiten am beſten und am leichteſten erwärmt, indem man die Wärme von Unten auf ſie wirken läßt; auf ihr beruht die langſame Erwärmung hoher, auf die gewöhnliche Weiſe geheizter Zimmer, ihre hohe Temperatur an der Decke und die Zweckmäßigkeit der nach Meißner's Anleitung eingerichteten Heizung. Nach dieſer Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgeſondertes, kleines, geſchloſſenes Gemach (Heizkammer) ſtellen, und die daſelbſt befindliche ſtark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl ſich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4—5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Öffnung leiten, die kalte aber, durch einen ähnlichen Kanal, der ſich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen; man erſpart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft ſo läſtigen ſtrahlenden Wärme, kann die Wärme der Zimmer durch Schließen und Öffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und ſoll auch Brennmateriale erſparen. Das zweite Verfahren beſteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen abſteht. So wie die Luft in dem Zwiſchenraume erwärmt iſt, ſteigt ſie in die Höhe; die kältere folgt von Unten nach und man kann ſo mit einem einzigen Ofen ein ſehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

204. Zu den Bewegungsgeſetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Verſuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln wahrgenommen hat. Solche Verſuche haben mehrere angeſtellt, darunter müſſen aber die von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit beſonders hervorgehoben werden. Bei Rumford's Verſuchen wurde nicht unterſchieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe; man brachte ihn in ein großes Zimmer von bekannter und beſtändiger Temperatur, beſtimmte an einem damit in Verbindung ſtehenden Thermometer die Temperatur nach gewiſſen Zwiſchenzeiten und nahm daraus das Geſetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Verſuchen wurden aber ſowohl die Geſetze des Wärmeverluſtes durch Strahlung als auch die des Verluſtes durch Mittheilung beſonders beſtimmt. Um mit aller möglichen Genauigkeit zu verfahren, wurde durch vorläufige Verſuche ausgemittelt, daß eine Flüſſigkeit, wie z. B. Queckſilber, in einem Gefäße von einerlei Subſtanz eingeſchloſſen, das Grundgeſetz der Erkaltung in ſeiner vollen Reinheit

und Einfachheit darſtelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2—7 Centimeter Durchmeſſer), oder der Geſtalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) geſtört zu werden. Bei dem eigentlichen Verſuche wurde ein Queckſilberthermometer bis zu einer beſtimmten Temperatur erwärmt und hierauf ſchnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geſchwärzt war und ſich in einem Waſſerbade von bekannter Temperatur befand. Um die Geſetze der Erkaltung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichſt verdünnt und ſelbſt der Reſt derſelben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingeſetzt, ſo daß ſeine Kugel des Ballons Mittelpunct einnahm, und endlich der Stand des Thermometers nach gleichen Zwiſchenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit gab die Abkühlungsgeſchwindigkeit an. Auf gleiche Weiſe wurde auch verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterſchiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war und daß man von der geſammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelſt ſolcher Verſuche fand man folgende Reſultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich ſchnell, ſelbſt wenn ſie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht deſto ſchneller vor ſich, je größer der Temperaturunterſchied zwiſchen dem erkaltenden Körper und ſeiner Umgebung iſt; doch ſtehen die Erkaltungsgeſchwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältniſſe mit den Temperaturunterſchieden, nähern ſich aber dieſem Verhältniſſe deſto mehr, je geringer der genannte Unterſchied iſt. 3) Im leeren Raume von beſtändiger Temperatur läßt ſich die Erkaltungsgeſchwindigkeit v durch die Formel $v = M(a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwiſchen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beſtändige Größen ſind, von denen $a = 1.0077$ iſt. Die Erkaltungsgeſchwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometriſchen Progreſſion, vermindert um eine beſtändige Größe, während die Temperaturüberſchüſſe eine arithmetiſche Reihe darſtellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für ſich, abgeſehen von der Ausſtrahlung, bewirkt, iſt völlig unabhängig von der Beſchaffenheit der Oberfläche der Körper und hängt blos von der Temperaturdifferenz zwiſchen dem Gaſe

und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gaſes ab. Dieſe Erkaltungsgeſchwindigkeit v' läßt ſich durch die Formel $v'=mt^b$ ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz, $b=1.233$ bedeutet, m aber eine Größe iſt, welche von der Natur des Gaſes und von den Dimenſionen des erkaltenden Körpers abhängt. Es ändert ſich daher v' in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Temperaturüberſchüſſe auch eine geometriſche bilden. Die geſammte Abkühlung wird demnach durch $M(a^t-1)+mt^b$ ausgedrückt.

205. Nach den erwähnten Erkaltungs- und Erwärmungsgeſetzen geht auch die Fortpflanzung der Wärme im Inneren der Körper vor ſich, weil dazu nur nothwendig iſt, daß ein Theil eines ſolchen Körpers wärmer iſt als ein anderer. Wird z. B. eine Metallſtange mit einem Ende in eine Wärmequelle gebracht, ſo bekommen nur die äußerſten Theile dieſes Endes die Wärme unmittelbar von der Wärmequelle. Sobald aber ein Theilchen der Materie nur im mindeſten mehr als das nächſte daran grenzende erwärmt iſt, muß es dieſem Wärme mittheilen, von dieſem Theilchen bekommt ſie wieder ſein benachbartes u. ſ. f. und ſo erhält jeder materielle Punct der Stange von dem vorhergehenden Wärme und gibt ſie an den nachfolgenden ab, wirkt aber auch auf die in einiger Entfernung befindlichen Puncte vor und hinter ſich ſo, daß die Fortpflanzung im Inneren als eine wahre Strahlung von Punct zu Punct angeſehen werden muß. Die Größe des Wärmezuwachſes eines Punctes iſt demnach die Differenz der empfangenen und abgegebenen Wärme und die Größe der Erwärmung hängt von dieſer und der Empfänglichkeit des Körpers für die Wärme ab. Man kann ohne den geringſten Fehler annehmen, daß dieſe Erkaltung und Erwärmung eines Theilchens durch das daran grenzende nach dem Newton'ſchen Geſetze vor ſich gehe und daher dem Wärmeunterſchiede proportionirt ſey. Während die gegenſeitige Erwärmung und Erkaltung im Inneren der Maſſe vor ſich geht, erfolgt auch ein Wärmeverluſt an der Oberfläche, theils durch unmittelbare Mittheilung an die Umgebung, theils durch Ausſtrahlen. Da dieſer Verluſt mit der Temperatur wächſt, ſo ſieht man leicht ein, daß die Temperatur obiger Stange im Allgemeinen nur ſo lange zunehmen kann, bis der Wärmezufluß dem Wärmeverluſte gleich kommt. Sobald dieſes Statt findet, muß die Temperatur der Stange ſtationär ſeyn.

Man kann die Vertheilung der Wärme in einem Körper durch Verſuche beſtimmen und ſich überzeugen, daß die Temperatur von der

unmittelbar erhitzten Stelle an gegen das fernere Ende abnimmt, und zwar ſind die Temperaturen Glieder einer geometriſchen Reihe, wenn die Entfernungen der erwärmten Stellen von der Wärmequelle Glieder einer arithmetiſchen Reihe ſind. Dieſes Geſetz hat Biot durch einen directen Verſuch beſtätiget, indem er an mehreren Stellen einer Eiſenſtange Thermometer anbrachte, deren Kugeln in die Stange eingeſetzt waren, und ihre Temperatur, nachdem ſie conſtant geworden war, beobachtete.

Drittes Kapitel.

Geſetze des Gleichgewichtes der Wärme.

206. Die Wärme eines Körpers, deſſen Temperatur weder im Wachſen noch im Abnehmen begriffen iſt, muß ſowohl mit der Wärme der Umgebung, als auch mit den Kräften, welche den kleinſten Theilen des Körpers eigen ſind, im Gleichgewichte ſtehen. Das erſtere Gleichgewicht wird Statt finden, wenn der Körper ebenſo viel Wärme ausſendet, als er von der Umgebung bekommt, das letztere, wenn die Theile desſelben in eine ſolche Entfernung von einander gebracht ſind, daß die Kraft, welche die Annäherung der Theile beſtimmt, der abſtoßenden Kraft der Wärme gleich und entgegengeſetzt iſt. Daher muß hier von der Wärmemenge in Körpern und von den Wirkungen der Wärme auf Körper die Rede ſeyn.

A. Capacität und ſpecifiſche Wärme.

207. Zwei heterogene Körper von einerlei Temperatur und gleich viel Maſſe enthalten doch nicht gleich viel Wärme in ſich, ſondern es braucht jeder Körper zu einer beſtimmten Temperatur eine gewiſſe, von ſeiner Natur abhängige Wärmemenge. Die Wärmemenge, welche ein Körper von der Maſſe $= 1$ braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° *C.* anzunehmen, heißt ſeine ſpecifiſche Wärme, und das Vermögen, die ſpecifiſche Wärme aufzunehmen, ſeine Capacität für die Wärme. Wenn man die ſpecifiſche Wärme der Körper durch Zahlen ausdrücken will, ſo muß man erſt darüber übereingekommen ſeyn, was man als Einheit der Wärmemenge annimmt. Als ſolche wird jene Wärmemenge angenommen, die 1 Pf. Eis von 0° *C.* braucht, um in Waſſer von derſelben Tem-

peratur überzugehen. Demnach iſt die Wärmemenge 2, 3, 10 ꝛc. diejenige, welche 2, 3, 10 ꝛc. Pf. Eis von 0° *C.* in Waſſer von 0° *C.* verwandelt. Die Capacität iſt der ſpecifiſchen Wärme proportionirt. Gewöhnlich nimmt man die Capacität des reinen Waſſers als Einheit an und mißt die der übrigen Körper nach dieſer Einheit. Es hat daher ein Körper die Capacität 2, 3 ꝛc., wenn ſeine ſpecifiſche Wärme 2, 3 ꝛc. mal größer iſt als die des Waſſers. Heißt die Capacität eines Körpers C, ſeine ſpecifiſche Wärme S, und σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers; ſo hat man $S:\sigma = C:1$, mithin $S = C\sigma$. Die Folge wird lehren, daß $\sigma = \frac{1}{75}$ iſt.

208. Die Capacität der Körper für die Wärme läßt ſich durch mehrere Mittel beſtimmen. Eines der einfachſten beſteht darin, daß man den Körper, um deſſen Capacität es ſich handelt, bis zu einem beſtimmten Grade erhitzt, ihn hierauf in eine beſtimmte Menge Waſſer oder in eine andere Flüſſigkeit von bekannter Temperatur ſenkt, und die gemeinſchaftliche Temperatur des Gemenges beſtimmt, wenn das Gleichgewicht der Wärme hergeſtellt iſt. Z. B. Es werde 1 Pf. Waſſer von 0° *C.* mit einem Pf. Eiſenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Es bringt demnach die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eiſens um $36 - 4 = 32°$ erhöht, im Waſſer nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und jenes braucht daher 8mal weniger Wärme als Waſſer, um dieſelbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder ſeine Capacität iſt $\frac{1}{8} = 0.125$. Es iſt klar, daß der Körper, deſſen Capacität auf dieſem Wege erforſcht werden ſoll, nicht in der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich ſeyn ſolle. Auch darf man nicht vergeſſen, daß dieſes Verfahren nur in ſo ferne richtig iſt, als ſich die Capacität der Flüſſigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit iſt dieſes nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß iſt; darum darf auch die Temperaturdifferenz beider Körper nicht bedeutend ſeyn, und man kann durch Anwendung größerer Maſſen es dahin bringen, daß man es auch bei kleinen Temperaturunterſchieden mit großen Wärmemengen zu thun hat. Überdieß muß man auf den Wärmeverluſt durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Verſuches Rückſicht nehmen. Wenn die Maſſen der zwei zu mengenden Körper ungleich ſind, wird man auch nicht ſo leicht durch bloßes Raiſonnement zum Ziele gelangen, ſondern man muß zu dieſem Ende eine eigene Rechnung führen.

Hat der wärmere Körper die Maſſe M, die Capacität C, und vor dem Verſuche die Temperatur T, der kältere die Maſſe m, die Capacität c, und vor dem Verſuche die Temperatur t, iſt ferner die ſtationäre Temperatur des Gemenges nach dem Verſuche τ und die ſpecifiſche Wärme des Waſſers σ; ſo hat der erſtere die Wärmemenge $MC\sigma\ (T-\tau)$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc\sigma\ (\tau-t)$ gewonnen, und es iſt

$$MC\sigma(T-\tau) = mc\sigma(\tau-t) \text{ oder } \frac{C}{c} = \frac{m(\tau-t)}{M(T-\tau)}.$$

209. Ein anderes Mittel, die Capacität zu beſtimmen, hat Mayer zuerſt angegeben. Es beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſchneller bis zur Temperatur ſeines Mittels abkühle, je kleiner ſeine Capacität iſt. Um durch dieſes Mittel zu einem richtigen Reſultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es ſich handelt, mit gleicher Oberfläche verſehen und zu dieſem Ende jeden derſelben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuſe einſchließen, bis zu einem beſtimmten Grade erwärmen und dann die Zeit beſtimmen, die er braucht, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen. Dieſe Zeit ſteht im geraden Verhältniſſe mit ſeiner Capacität. Dulong und Petit haben dieſen Weg mit Vortheil eingeſchlagen.

210. Ein drittes Mittel beruht auf der Beſtimmung der Eismenge, die ein Körper zu ſchmelzen vermag. Man braucht zu ſeiner practiſchen Ausführung ein eigenes Inſtrument, welches Laplace und Lavoiſier angegeben und Calorimeter genannt haben. Dieſes beſteht aus zwei Gefäßen (Fig. 255), wovon eines in dem anderen ſteckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu unterſuchenden Körpers A und des zu ſchmelzenden Eiſes, während das äußere C blos zum Behälter desjenigen Eiſes beſtimmt iſt, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten ſoll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verſchloſſen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt iſt; es dient zur Aufnahme des Waſſers, das aus dem inneren Eiſe entſteht. Beim Gebrauche wird zuerſt der Zwiſchenraum zwiſchen beiden Gefäßen mit klein zerſtoßenem Eiſe von 0° C. angefüllt und auch das Innere faſt ganz damit verſehen. Hierauf kommt der Körper A hinein und zwar, wenn er feſt iſt, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar iſt, in eine eigens dazu beſtimmte Büchſe; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel

aufgeſetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eiſe entſtandene Waſſermenge genau beſtimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Iſt C die Capacität des Körpers, mit dem man den Verſuch anſtellt, T ſeine anfängliche Temperatur und M ſeine Maſſe, σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers, ſo iſt $MTC\sigma$ ſeine Wärmemenge. Werden N Pfund Eis von 0° C. geſchmolzen, ſo iſt die Zahl N zugleich die dazu nöthig geweſene Wärmemenge und man hat demnach

$$MTC\sigma = N \text{ und hieraus } C = \frac{N}{MT\sigma}.$$

Iſt die zu unterſuchende Maſſe tropfbar, ſo muß man auch die Maſſe m des Gefäßes, welches man beim Verſuche braucht, ſeine anfängliche Temperatur t und ſeine Capacität c vorläufig kennen. Heißt in dieſem Falle N' die geſchmolzene Waſſermenge, ſo hat man offenbar

$$\sigma(MCT + mct) = N' \text{ und daher } C = \frac{N' - mc\sigma t}{MT\sigma}.$$

211. Endlich gelangt man noch durch ein viertes Mittel zur Kenntniß der Capacität einiger Körper. Dulong und Petit haben nämlich gefunden, daß chemiſch einfache Stoffe bei derſelben Temperatur gleich viel Wärme in ſich enthalten, ſobald ſich ihre Maſſen wie ihre Atomengewichte (*I*. 49) verhalten oder mit anderen Worten, daß ihre Atome gleiche Capacität haben. Iſt daher A das Atomengewicht, M die Maſſe eines Körpers, C ſeine Capacität und Q die Wärmemenge, die er enthält: ſo hat, der genannten Erfahrung gemäß, Q für alle chemiſch einfachen Stoffe denſelben Werth, wenn $\frac{A}{M} = \mu$ eine conſtante Zahl iſt. Es iſt aber $C = \frac{Q}{M\sigma}$, mithin für M den Werth $\frac{A}{\mu}$ geſetzt: $C = \frac{\mu Q}{A\sigma}$. Die Größe μQ fand man im Mittel $= 0.37524$, ſo daß $C = \frac{0.37524}{A\sigma}$ iſt.

212. Keines der angeführten Mittel läßt ſich, in der Weiſe angewendet, wie hier geſagt wurde, zur Beſtimmung der Capacität der Gaſe brauchen, weil man wegen ihrer zu geringen Dichte ein zu großes Volumen derſelben anwenden müßte, um ein nur mäßig genaues Reſultat zu erhalten. Die Abkühlungsmethode (209) iſt für ſolche Körper überhaupt unanwendbar, weil auf ihre Ab-

kühlungszeit die größere oder kleinere Beweglichkeit ihrer Theile einen bedeutenden Einfluß ausübt und auch die Gefäße einen zu großen Theil ihrer Wärme aufnehmen; aber die Miſchungsmethode läßt ſich ſo modificiren, daß man durch ſie der Wahrheit ſehr nahe kommen kann und zwar auf folgende Weiſe: Man leite das Gas, nachdem man es in einem mit kochendem Waſſer umgebenen Gefäße auf 100° *C.* gebracht hat, in einem gleichförmigen, langſamen Strome in ein Rohr, welches in ſchlangenförmigen Windungen durch ein mit Waſſer von beſtimmter Temperatur gefülltes, geſchloſſenes Gefäß geht, laſſe das Gas durch das andere Ende der Röhre wieder entweichen und beobachte die Temperatur des Waſſers, nachdem ſie ſtationär geworden iſt. Da in dieſem Zuſtande dem Waſſer vom Gaſe gerade ſo viel Wärme zugeführt wird, als es an die Umgebung abgibt; ſo werden offenbar die Erhöhungen der Temperatur, welche das Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden durch verſchiedene Gaſe erhalten hat, den Capacitäten dieſer Gaſe proportionirt ſeyn. Setzt man nun die Capacität eines Gaſes = 1, wie man dieſes mit der atmoſphäriſchen Luft zu thun pflegt; ſo erhält man leicht die Capacitäten der übrigen Gaſe nach dieſer Einheit. Dieſe Methode kann man auch zur Beſtimmung der Capacität der Dünſte anwenden, nur muß man dem zu erwärmenden Waſſer ſchon vorläufig eine Temperatur ertheilen, die nicht geringer iſt, als diejenige, bei welcher ſich die Dünſte gebildet haben, damit dieſe nicht in den tropfbaren Zuſtand überzugehen gezwungen werden.

213. Um die Capacität der Gaſe in Bezug auf die des Waſſers zu finden, ſucht man die Erwärmung, welche eine beſtimmte Menge atmoſphäriſcher Luft, die man ſucceſſiv durch eine der vorigen ähnliche Röhre leitet, im Waſſer hervorbringt, und berechnet daraus das Verhältniß der Capacitäten des Waſſers und der atmoſphäriſchen Luft. (Suppl. S. 678.)

Alle dieſe Capacitäten beziehen ſich auf die Maſſe = 1, d. i. auf ein Pfund; wollte man ſie auf das Volumen = 1, d. h. auf einen Kubikfuß reduciren und daher die Zahlen, welche die Capacitäten ausdrücken, ſo abändern, daß ſie der Wärmemenge proportionirt ſind, welche man braucht, um die Temperatur eines Kubikfußes eines Körpers um 1° *C.* zu erhöhen; ſo dürfte man obige Größen nur mit der Dichte der entſprechenden Körper multipliciren.

214. Bei allen aufgezählten Unterſuchungsmethoden zieht ſich der Körper, um deſſen Capacität es ſich handelt, während des Verſuches durch Erkaltung zuſammen und dehnt ſich durch Erwärmung aus, man erfährt alſo ſeine Capacität unter einem beſtändigen Drucke und unter veränderlichem Volumen. Man kann die Unterſuchung bei verſchiedener Größe dieſes Druckes anſtellen, von verſchiedenen Temperaturen der zu unterſuchenden Körper ausgehen und ſehen, wie die Capacitäten der Körper unter ſo verſchiedenen Umſtänden ausfallen. Aber damit iſt nicht alles geſchehen, ſondern man muß auch die Capacitäten der Körper kennen lernen, wenn ſich ihr Volumen während des Verſuches nicht ändert, d. h. die Capacitäten unter beſtändigem Volumen und veränderlichem Drucke. Dieſe kann man, wenigſtens vor der Hand, noch nicht unmittelbar finden. Für Gaſe gelangt man aber auf folgendem Wege zum Ziele: Bekanntlich hängt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in einem Gaſe von deſſen ſpecifiſcher Expanſivkraft und von der bei der Compreſſion der Gasſchichten in der verdichteten Welle eintretenden Wärmeentwicklung, letztere aber von dem Verhältniſſe der Capacität unter beſtändigem Drucke zu der unter beſtändigem Volumen ab. Berechnet man demnach die Schallgeſchwindigkeit in dieſem Gaſe aus der Tonhöhe einer Gasſäule von beſtimmter Länge und hierauf ohne Rückſicht auf den Wärmeeinfluß nach der Newton'ſchen Formel (*I.* 324); ſo gibt das Quadrat des Quotienten, den man durch Diviſion der erſteren Geſchwindigkeit durch die letztere erhält, das Verhältniß der Capacität des Gaſes unter beſtändigem Drucke zu dem unter beſtändigem Volumen (Suppl. S. 683). Da man nun erſtere Capacität aus dem Vorhergehenden kennt, ſo iſt es leicht, die letztere zu finnen. Für feſte Körper hat man in der neueſten Zeit einen ähnlichen Weg eingeſchlagen. Wird ein ſolcher, drahtförmig gezogener Körper ſchnell durch eine bedeutende Kraft geſpannt, ſo daß er eine Verlängerung erleiden muß, bei der nun erlangten Länge unverändert erhalten und gleich darauf ſeine Tonhöhe unterſucht, ſo wird aus derſelben ſeine Spannung berechnet werden können. Unterſucht man einige Zeit darauf ſeine Tonhöhe abermals, ſo kann aus dieſer wieder ſeine Spannung berechnet werden und der Unterſchied beider Spannungen kann nur durch eine Temperaturänderung des Drahtes erzeugt werden, die er durch eine Volumenänderung erlitten hat, und man iſt im Stande, dieſe Temperaturänderung, daraus das

Verhältniß zwiſchen der Capacität bei conſtantem Drucke und bei conſtantem Volumen abzunehmen und ſo letztere ſelbſt zu finden. Für tropfbare Körper hat man noch kein Mittel zu demſelben Zwecke. (Dulong in Zeitſch. 6. 474. Weber in Pogg. Ann. 20. 177.)

215. Aus derlei Unterſuchungen ergeben ſich nun folgende Reſultate: 1) Die Capacitäten verſchiedener feſter und tropfbarer Körper ſind verſchieden, ſie mögen nun bei demſelben Drucke oder bei demſelben Volumen angenommen werden. Die Capacitäten der chemiſch einfachen Gaſe ſind einander gleich und zwar ſowohl die unter beſtändigem Drucke als die unter beſtändigem Volumen, wenigſtens liegen die bei Verſuchen gefundenen Differenzen innerhalb der wahrſcheinlichen Fehlergrenzen. Der Exponent des Verhältniſſes der Capacitäten unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen iſt nach Dulong 1.421, oder nach Moll's und Beck's Schallverſuchen 1.4152. Verſchiedene chemiſch zuſammengeſetzte Gaſe haben verſchiedene Capacitäten. Doch ſcheint auch das Verhältniß der Capacität eines ſolchen Gaſes bei conſtantem Druck zu dem bei conſtantem Volumen für alle zuſammengeſetzten zu gelten. Der Exponent des Verhältniſſes beider Capacitäten zu einander, iſt im Mittel aus den bereits unterſuchten Gaſen 1.337. 2) Die Capacitäten unter demſelben Drucke ſind ſowohl bei den bereits unterſuchten feſten, als bei den gasförmigen Körpern größer, als die unter beſtändigem Volumen, und man muß ſich vorſtellen, die einem Körper bei conſtantem Drucke mitgetheilte Wärme werde zum Theile zur Temperaturerhöhung desſelben, zum Theile aber zur Vergrößerung ſeines Volumens verwendet. 3) Das Verhältniß der Capacität unter beſtändigem Drucke zu dem unter beſtändigem Volumen bleibt (wenigſtens für Gaſe) bei allen Temperaturen dasſelbe. 4) Die Capacität bei beſtändigem Drucke wächſt ſowohl bei feſten als bei flüſſigen Körpern mit der Temperatur und ein Körper braucht mehr Wärme, damit ſeine Temperatur von 100° auf 101° ſteige, als damit ſie von 0° auf 1° erhoben werde. 5) Die Capacität bei beſtändigem Drucke nimmt bei Gaſen (für andere Körper kennt man noch kein Reſultat) ab, wenn die Größe des Druckes zunimmt, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe als der Druck und man muß z. B. den Druck auf ſeine 18fache Größe ſteigern, damit die Capacität auf die Hälfte herabgeſetzt werde. Folgende Tafel gibt Belege zu dieſen Geſetzen:

Capacität einiger feſter und tropfbarer Körper.

Name	Capacität bei beſtändigem Drucke	Capacität bei beſtändigem Volumen
Waſſer . . , ...	1.0000	—
Eis	0.9000	—
Glas (von 0° — 100°) . . .	0.1770	—
do. (von 0° — 300°) . . .	0.1900	—
Queckſilber (von 0° — 100°) .	0.0330	—
do. (von 0° — 300°) .	0.0350	—
Schwefel	0.1880	—
Talg	0.2167	—
Holzkohle	0.2631	—
Leinöhl . . . . , . . .	0.5280	—
Brennöhl	0.7100	—
Schwefeläther (ſp. G. 0.7676)	0.6600	—
Eiſen	0.1098	0.1026
Kupfer	0.0949	0.0872
Silber	0.0557	0.0525
Platin	0.0314	0.0259

Capacität einiger Gaſe (nach Dulong).

Name	Capacität unter conſtant. Volumen	Capacität unter conſtant. Drucke	Verhältniß beider Capacitäten
Atmoſphäriſche Luft . .	1.000	1.000	1.421
Sauerſtoffgas	1.000	1.000	1.415
Waſſerſtoffgas	1.000	1.000	1.407
Kohlenſäuregas . . .	1.249	1.175	1.338
Kohlenoxydgas . . .	1.000	1.000	1.428
Oxydirtes Stickgas . .	1.227	1.16	1.343
Öhlbildendes Gas . .	1.754	1.531	1.240

B. Ausdehnung durch die Wärme.

216. Die Wärme ſteigert die abſtoßende Kraft der kleinſten Körpertheilchen und bewirkt in einer Maſſe, worin ſonſt Gleichgewicht der Kräfte herrſchte, daß die abſtoßende Kraft das Übergewicht erhält, welchem zufolge ſich die materiellen Theilchen von einander entfernen, bis wieder ein Gleichgewicht der Kräfte eintritt. So kommt es, daß die Wärme das Volumen der Körper vergrö-

ßert, d. h. ſie ausdehnt. Bei feſten Körpern, wo die anziehende Kraft das Übergewicht hat, wird dieſes Übergewicht durch Erwärmung verringert, wie man dieſes an dem geringeren Zuſammenhange der Theile erhitzter feſter Körper bemerkt (*I.* 134). Bei tropfbaren wird die ohnehin ſchon überwiegende Abſtoßung noch ſtärker, man braucht eine größere Kraft, um den Übergang der Theile in den ausdehnſamen Zuſtand zu verhindern, es wird dadurch die Compreſſibilität der Flüſſigkeit und ihre Capillarität modificirt. Bei ausdehnſamen Körpern, wo die Anziehung ohnehin ſchon unendlich klein iſt gegen die Abſtoßung und letztere keinen inneren Widerſtand mehr erfährt, muß dieſelbe Kraft durch Erwärmung in einem der zugeſetzten Wärme proportionirten Maße geſteigert werden, wie dieſes die Erfahrung darthut. In einigen Fällen, die aber noch einer näheren Prüfung bedürfen, erſcheint die Wärme gar als freies, an keinen Stoff gebundenes abſtoßendes Princip. Wird nämlich ein Waſſertropfen auf weiß glühendes Eiſen gegeben, ſo ſiedet er nicht, benetzt auch das Eiſen nicht, ſondern geräth in drehende Bewegung. Taucht man weiß glühendes Glas in Waſſer, ſo ſcheint das Waſſer vom Glaſe zurückzuprallen und rings um daſſelbe einen freien Raum zu laſſen. Perkins berichtet, daß Waſſer aus einem durchlöcherten, ſtark glühenden eiſernen Behälter nicht austrete. Fresnel endlich will bemerkt haben, daß höchſt beweglich aufgehängte, leichte Körper durch bloße Erwärmung eine Abſtoßung erfahren, die nicht von Luftſtrömungen abhängen kann, weil ſie im luftleeren Raume ſtärker iſt als in einem mit Luft erfüllten.

217. Bei feſten Körpern beſtimmt man unmittelbar meiſtens nur die lineare Ausdehnung, welche eine beſtimmte Temperaturerhöhung erzeugt und berechnet aus dieſer die Vergrößerung des Körperinhaltes. Man bedient ſich dazu eigener Inſtrumente, die man, wiewohl uneigentlich, Pyrometer nennt. Fig. 256 ſtellt ein ſolches Pyrometer vor. Der zu unterſuchende Körper *AB* wird an einem Ende *B* feſt eingeſpannt, am anderen *A* hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels *abc* angeſtemmt, deſſen längerer Arm *bc* über einer eigenen Scale ſpielt und darauf gleichſam die Verlängerung der Stange *AB* vergrößert darſtellt. (Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608. Suppl. S. 87.)

218. Dehnt ſich ein Körper nach allen Richtungen in demſelben Verhältniſſe zu ſeiner urſprünglichen Dimenſion aus; ſo iſt ſeine kubiſche Ausdehnung das Dreifache der linearen. Heißt die

Dimenſion, um die es ſich handelt, bei der urſprünglichen Temperatur a, ſein Volumen v, ſeine lineare auf dieſe Dimenſion bezogene Ausdehnung durch die Erwärmung μa, wo μ einen echten, meiſtens ſehr kleinen Bruch bedeutet, und die Zunahme ſeines Volumen ρv; ſo iſt offenbar

$$v : v(1+\rho) = a^3 : a^3(1+\mu)^3 = a^3 : a^3(1+3\mu+3\mu^2+\mu^3)$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläſſigen und mit v und a^3 dividiren kann,

$$1 : 1+\rho = 1 : 1+3\mu, \text{ daher } \rho = 3\mu.$$

219. Die Vorausſetzung einer nach allen Richtungen gleichförmigen Ausdehnung iſt nur für nicht kryſtalliſirte und für jene kryſtalliſirten Körper richtig, welche zu den vielaxigen gehören; hingegen jene Kryſtalle, welche in ein anderes Kryſtallſyſtem gehören, dehnen ſich nach einigen Richtungen ſtärker aus, als nach anderen und zwar erfolgt bei jenen, deren Kryſtallgeſtalt ſich von einem Rhomboeder oder einer gleichſeitigen vierſeitigen Pyramide ableiten laſſen, nur die Ausdehnung nach der Richtung der Hauptaxe anders als nach den übrigen Richtungen, während bei anderen nicht vielaxigen Kryſtallen die Ausdehnung nach jeder Axe anders iſt.

Nach Mitſcherlich verändern ſich die ebenen Winkel eines Kalkſpathrhomboeders bei einer Temperaturerhöhung von 80° R. um 8½ M. und zwar werden alle ſtumpfen Winkel kleiner, die complementären ſpitzigen größer; die Veränderungen ſtehen mit der Temperatur in geradem Verhältniſſe. Die Ausdehnung von 0° — 100° C. nach der Richtung der Hauptaxe iſt um 0.00342 größer, als nach den anderen Axen. An manchem Kryſtalle werden aber bei der Erwärmung die ſtumpfen ebenen Winkel größer und ihre Complementwinkel kleiner. (Pogg. Ann. 1. 125; 10. 137.) Nach Fresnel kann man ſich von der ungleichen Ausdehnung der Gypskryſtalle nach verſchiedenen Richtungen auf folgende Weiſe überzeugen: Man löſe von einem ſolchen Kryſtalle ſehr dünne Blättchen ab und leime ſie ſo auf einander, daß ſich ihre Axen rechtwinkelig kreuzen, mit einem Leim, der in der Wärme weich wird und beim Erkalten erhärtet. Erwärmt man ein ſolches Doppelplättchen und läßt es hierauf wieder kalt werden, ſo erſcheinen beide Theile desſelben auf eine Weiſe gekrümmt, aus der man abnehmen kann, nach welchen Richtungen in der Ausdehnung der Plättchen die größte Differenz herrſche. Es iſt klar, daß dieſem nach die bei der doppelten Brechung (101) aufgefundenen Größen ſich nur auf eine beſtimmte Temperatur (die

gewöhnliche Lufttemperatur) beziehen, bei viel höheren oder minderen Wärmegraden aber anders ausfallen müſſen.

220. Die Ausdehnung der feſten Körper durch die Wärme iſt weder für verſchiedene Körper und dieſelbe Temperaturänderung gleich groß, noch für denſelben Körper den verſchiedenen Wärmegraden proportionirt, indeß kann man doch für Temperaturen, welche innerhalb des Fundamentalabſtandes des Thermometers liegen, die Ausdehnung eines Körpers ſeiner Temperatur proportional ſetzen. Bei höheren Temperaturen iſt die Ausdehnung viel größer, als nach dieſem Geſetze.

Denkt man ſich Thermometer aus Platin, Kupfer, Glas, Eiſen ꝛc. ſo wird nach Dulong's und Petit's Verſuchen das erſte 311°.6, das zweite 328°.8, das dritte 352°.9 und das vierte 372°.6 angeben, während ein Luftthermometer 300° angibt.

Ausdehnung einiger feſter Körper von 0—100° *C.*

Spiegelglas .	$\frac{1}{1122}$	Weich. Schmiedeeiſen . . .	$\frac{1}{819}$	Stahl . . .	$\frac{1}{480}$
				Wismuth . .	$\frac{1}{719}$
Flintglas . .	$\frac{1}{1232}$	Weich. Eiſendraht	$\frac{1}{810}$	Silber . . .	$\frac{1}{524}$
Platin . . .	$\frac{1}{1167}$	Gold	$\frac{1}{682}$	Zinn	$\frac{1}{460}$
Spießglanz .	$\frac{1}{923}$	Kupfer . . .	$\frac{1}{582}$	Blei	$\frac{1}{351}$
Gußeiſen . .	$\frac{1}{901}$	Meſſing . . .	$\frac{1}{533}$	Zink	$\frac{1}{340}$

221. Die Verſchiedenheit der Ausdehnung feſter Körper für denſelben Temperaturunterſchied begründet die Möglichkeit, Körper ſo mit einander zu verbinden, daß ſie bei beſtimmten Temperaturänderungen beſtimmte Bewegungen annehmen oder unverändert dieſelbe Länge beibehalten; auch viele Vorſichten bei der Verbindung verſchiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der ſich ſolche Körper ausdehnen, wenn ſie erwärmt werden, und ſich wieder zuſammenziehen, wenn man ſie abkühlt, läßt ſich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier ſich ungleich ausdehnender Metalle beruht Brequet's und Holzmann's Metallthermometer. Brequet's Thermometer (Fig. 257) beſteht aus drei zuſammengeſchraubten, ſchraubenförmig gewundenen Plättchen *A*, von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende befeſtiget, und am unteren mit einem Zeiger *B* verſehen ſind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung ſpielt. Holzmann's Thermometer (Fig. 258) hat die Form einer Taſchenuhr. Der eigentliche thermometriſche Theil desſelben iſt ein bogenförmiges Doppelplättchen *A*

aus Eiſen und Meſſing oder aus Platin und Meſſing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieſes iſt an einem Ende am Gehäuſe befeſtiget, am anderen aber mit einem Rechen *a* in Verbindung, der mit ſeinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers *b* angebracht iſt. Der Zeiger ſpielt auf einer mit der Thermometerſcale verſehenen Platte. — Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verſchiedener mit einander verbundener oder verſchieden erwärmter Körper beruht das Krachen eiſerner geheizter Öfen, metallener Dächer oder des Eiſes an ſtrengen Wintertagen; das Zerreißen eiſerner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu geſtatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Waſſer- oder Dampfleitungsröhren die ſogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Keſſeln und großen Pfannen ringsum einen Zwiſchenraum zu laſſen; das Zerſpringen gläſerner Gefäße bei ſchneller Erhitzung oder Erkältung; das Abſchälen oder Zerſpringen der Glaſur an Gefäßen bei ſchnellen Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher ſich erwärmte Körper ausdehnen, iſt im Stande, ungeheure Hinderniſſe zu überwinden. Man kann durch ſie die Kraft ſtarker Preſſen erſetzen. Eben ſo verhält es ſich mit der Energie, womit ſie ſich beim Erkalten zuſammenziehen. Molard hat dadurch ſtark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt.

222. Die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme läßt ſich unmittelbar dadurch beſtimmen, daß man ſie als thermometriſche Flüſſigkeiten behandelt und ſie zum Füllen von Thermometern braucht, die eine verhältnißmäßig ziemlich große Kugel haben, deren Rauminhalt gegen den der Röhre genau bekannt iſt. Wird ein ſolches Thermometer verſchiedenen Temperaturen ausgeſetzt, und für jede derſelben das Volumen der Flüſſigkeit beſtimmt, ſo hat man die Aufgabe gelöſt. Daß man dabei auf die Ausdehnung des Gefäßes Rückſicht nehmen und ihren Einfluß in Rechnung bringen müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann zu demſelben Ziele auch dadurch gelangen, daß man die Dichte der Flüſſigkeit bei mehreren Temperaturen nach den (I. 160 u. 161) angegebenen Methoden ſucht und daraus auf ihr Volumen ſchließt.

223. Durch ſolche Verſuche hat man ſich überzeugt, daß jeder tropfbaren Flüſſigkeit bei einerlei Temperaturänderung eine beſondere Ausdehnung entſpreche und daß ſich keine durchaus der Temperatur proportional ausdehne. In der Regel kann man aber doch für Temperaturen, die weit von denen entfernt ſind, bei welchen

29 *

die Flüſſigkeit ihren Aggregationszuſtand ändert, eine Proportionalität zwiſchen der Ausdehnung und dem ihr entſprechenden Wärmegrade annehmen. In der Nähe ihres Siedpunctes dehnen ſie ſich in einem größeren Verhältniſſe aus, als die Temperatur wächſt, in der Nähe der Temperatur, bei der ſie feſt werden, verhalten ſich aber nicht alle auf gleiche Weiſe. Einige, z. B. Queckſilber, ziehen ſich beim Erkalten immer mehr zuſammen und dehnen ſich auch beim Erwärmen ſtärker aus als bei höheren Temperaturen, bei anderen, wie z. B. beim Schwefel, findet das Gegentheil Statt; ja einige haben gar oberhalb ihres Eispunctes die größte Dichte und dehnen ſich daher bei weiterer Erkaltung unter dieſen Punct aus, ſtatt ſich zuſammenzuziehen. Dem Waſſer kommt dieſe merkwürdige Eigenſchaft zu. Dieſes haben mehrere Gelehrte, neueſtens aber mit beſonderer Schärfe Stampfer und Muncke unterſucht. Erſterer findet die größte Dichte desſelben bei 3° *R.*, letzterer bei 3°.78 *C.* = 3°.024 *R.* (Jahrb. des polytechn. Inſtit. in Wien. B. 16. Muncke über die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme, in den *Mém. présentés à l'Acad. Imp. de St. Petersbourg*, *par Dr. Sav. Tom. I.* Die Reſultate dieſer Verſuche enthält auch Zeitſch. 10. 366.) Stampfer ſtellte ſeine Verſuche mit einem meſſingenen Cylinder an, deſſen Volumen und Gewicht mit einer Schärfe beſtimmt wurde, die für derlei Arbeiten als Muſter gelten kann, und deſſen Gewichtsverluſt in Waſſer von bekannter Temperatur ausgemittelt wurde, um aus dieſem Gewichtsverluſte die Dichte des Waſſers berechnen zu können. Muncke zog es vor, das Volumen der Flüſſigkeit in einer mit einer Kugel verſehenen Glasröhre bei verſchiedenen Temperaturen zu beobachten und daraus auf die Dichte der Flüſſigkeit zu ſchließen. Folgende Tabelle gibt das Volumen, die Dichte und das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers von — 3° *R.* bis + 32° *R.* an, wie ſie Stampfer gefunden hat.

Temp.	Volumen.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolls in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pf.
— 3	1.000463	0.999537	1.043539	56.3511
2	1.000319	0.999681	1.043689	56.3592
1	1.000203	0.999797	1.043810	56.3658
0	1.000113	0.999887	1.043904	56.3708
+ 1	1.000050	0.999950	1.043970	56.3744
2	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
3	1.000000	1.000000	1.044023	56.3772
4	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
5	1.000047	0.999952	1.043972	56.3745
6	1.000106	0.999894	1.043911	56.3712
7	1.000187	0.999813	1.043827	56.3667
8	1.000289	0.999711	1.043720	56.3610
9	1.000413	0.999587	1.043591	56.3540
10	1.000558	0.999442	1.043440	56.3458
11	1.000723	0.999278	1.043268	56.3365
12	1.000906	0.999095	1.043077	56.3262
13	1.001108	0.998893	1.042866	56.3148
14	1.001329	0.998673	1.042636	56.3024
15	1.001567	0.998435	1.042388	56.2890
16	1.001822	0.998180	1.042122	56.2746
17	1.002095	0.997907	1.041839	56.2593
18	1.002384	0.997622	1.041539	56.2431
19	1.002687	0.997320	1.041223	56.2261
20	1.003005	0.997003	1.040893	56.2083
21	1.003338	0.996673	1.040549	56.1897
22	1.003685	0.996329	1.040190	56.1703
23	1.004045	0.995971	1.039816	56.1501
24	1.004418	0.995601	1.039429	56.1292
25	1.004804	0.995219	1.039031	56.1077
26	1.005202	0.994825	1.038620	56.0855
27	1.005612	0.994420	1.038197	56.0627
28	1.006032	0.994004	1.037763	56.0392
29	1.006462	0.993579	1.037319	56.0152
30	1.006902	0.993145	1.036865	55.9907
31	1.007353	0.992701	1.036402	55.9657
32	1.007813	0.992247	1.035928	55.9401

Nachſtehende Tabelle enthält das Volumen einiger Flüſſigkeiten für die nebenſtehenden Temperaturen nach Muncke's Verſuchen:

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzſäure.	Salpeterſäure.	Schwefelſäure.
— 20	0.982	—	—	0.988	0.978	0.991
— 10	0.900	0.985	0.997	0.994	0.990	0.995
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
+ 10	1.010	1.015	1.003	1.006	1.010	1.006
20	1.021	0.030	1.007	1.011	1.021	1.011
30	1.032	0.046	1.012	1.017	1.032	1.017
40	1.043	1.064	1.017	1.022	1.042	1.023
50	1.054	—	—	—	1.054	1.029
60	1.066	—	—	—	1,065	1.035

Eine wäſſerige Löſung von ſalzſaurem Natrum vom ſpecifiſchen Gewichte 1.010 hat das Maximum der Dichte bei 1°.5 *R.* Salzwaſſer von 1.027 ſpecifiſchem Gewicht hat kein ſolches Maximum. Aus dieſem Verhalten des Waſſers erklärt es ſich, warum tiefe Wäſſer ſo ſelten gefrieren, warum das Gefrieren erſt eintritt, wenn die Temperatur der Luft ſchon längere Zeit hindurch unter 0° *C.* ſtand. Ob einer Flüſſigkeit ein Maximum der Dichte zukomme oder nicht, erfährt man am leichteſten, wenn man ſie erwärmt, hierauf abkühlen läßt und die Abkühlungsgeſchwindigkeit beobachtet. Dieſe iſt immer in der Nähe des Maximum's der Dichte ein Minimum.

Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in ſeinem feſten Zuſtande mit der in ſeinem tropfbaren, ſo wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; ſo findet man, daß ſie für dieſelbe Temperaturänderung im flüſſigen Zuſtande größer iſt als im feſten, doch ſcheint es zwiſchen den Ausdehnungen in beiden Zuſtänden einen Zuſammenhang zu geben. So z. B. dehnt ſich das Roſe'ſche Metallgemiſche nach Erman von 0°—30° *R.*, wo es feſt iſt, und von 80° an, wo es flüſſig iſt, nach demſelben Geſetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei ſeiner Ausdehnung im feſten und flüſſigen Zuſtande dasſelbe Geſetz und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung. (Pogg. Ann. 9. 557.) — Die Ausdehnung der Gaſe und Dünſte hängt mit ihrer Expanſivkraft ſo innig zuſammen, daß alles, was über dieſe geſagt wurde, auch von jener gilt und daher nicht beſonders dargeſtellt zu werden braucht.

C. Änderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme.

224. Wenn die Theile eines feſten Körpers durch die Wärme bereits ſo weit von einander entfernt worden ſind, daß dieſes nicht

mehr weiter geſchehen kann, ohne ihre gegenſeitige Anziehung in eine Abſtoßung zu verwandeln; ſo ſind ſie an ihrem Schmelzpuncte und die geringſte Steigerung ihrer Temperatur erzeugt ein Übergewicht der abſtoßenden Kraft über die anziehende und den Übergang des feſten Zuſtandes in den tropfbar flüſſigen, d. h. ein Schmelzen. Durch Dehnen eines Körpers mittelſt einer von Außen angebrachten Kraft kann man kein Schmelzen bewirken, weil dadurch keine gleichförmige Entfernung der Theile von einander erzeugt werden kann. In guten Wärmeleitern geht das Schmelzen, wenn es einmal an einer Stelle begonnen hat, raſch vorwärts und erſtreckt ſich durch die ganze Maſſe, wenn ſolche Körper überhaupt der gehörigen Temperatur ausgeſetzt ſind, bei ſchlechten Leitern hingegen dauert es eine geraume Zeit, bis die ganze Maſſe geſchmolzen iſt. Einige Körper brauchen dazu eine nur mäßige Temperatur, wie z. B. Wachs, andere eine ungemein hohe, wie z. B. Gold, Eiſen, Platin. Die Kohle ſcheint unter allen die höchſte Temperatur zum Schmelzen zu erfordern. Manche Körper, wie z. B. alle organiſchen und auch viele unorganiſche, erleiden eher eine chemiſche Zerſetzung, als ſie die zum Schmelzen nöthige Temperatur erlangt haben, bei einigen kann man der Zerſetzung dadurch vorbeugen, daß man ſie unter einem ſehr hohen Drucke erhitzt. So iſt es Hall gelungen, ſelbſt Marmor zu ſchmelzen.

225. Während ein Körper ſchmilzt, nimmt er keine höhere Temperatur an und eine Vermehrung des Wärmezufluſſes kann nur eine Beſchleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturerhöhung hervorbringen. So behält Eis in dem wärmſten Zimmer die Temperatur von 0° *C.* Die zufließende Wärme übernimmt die Function der Formänderung des Körpers und hört auf zu erwärmen. Man nennt ſie die gebundene Wärme, und ſagt: Beim Schmelzen der Körper wird Wärme gebunden. Dieſe gebundene Wärme iſt es, welche die Größe der zwiſchen den einzelnen Körpertheilchen herrſchenden abſtoßenden Kraft ſo weit ſteigert, daß ſolche Theile, die ohne den Zutritt der Wärme auf einander anziehend wirkten, nun bei derſelben Entfernung eine abſtoßende Wirkung auf einander ausüben. (Vergl. I. 145.)

Um die Wärmemenge zu finden, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird, bedient man ſich am beſten der Miſchungsmethode. Wollte man z. B. dieſes bei Eis thun, ſo nehme man eine Quantität desſelben $= m$ von der Temperatur 0° *C.* und eine Waſſer-

menge M von der Temperatur T und der ſpecifiſchen Wärme σ, miſche beide mit einander und bemerke die Temperatur der Miſchung t. Hier iſt offenbar σmt die Wärme, welche dem aus Eis entſtandenen Waſſer zugewachſen iſt, $\sigma M\ (T-t)$ diejenige, welche das Waſſer verloren hat. Braucht eine Maſſeneinheit Eis zum Schmelzen die Wärmemenge x, ſo iſt mx die für die Eismaſſe m zu demſelben Zwecke nöthige Wärmemenge, und man hat:

$$\sigma mt + mx = \sigma M\ (T-t) \text{ oder } x = \frac{\sigma M\ (T-t) - \sigma mt}{m}$$

Auf dieſem Wege hat man gefunden, daß ein Pfund Eis von 0° C. ſo viel Wärme bindet, daß man damit ein Pfund Waſſer von 0° C. bis 75° C. erwärmen könnte. (Vergleiche 207.) Eben ſo beträgt die Flüſſigkeitswärme beim Wachs 97°.5, beim Spermacet 80°, beim Zinn 277°.5 C.

226. Wenn einem tropfbaren Körper bis zu einem beſtimmten Grade Wärme entriſſen wird, ſo nimmt er wieder den feſten Zuſtand an. Manche Körper gehen unmittelbar vom tropfbaren in den feſten über, manche geſtehen zuerſt und werden hierauf erſt feſt. Dabei kryſtalliſiren faſt alle, wenn die dazu erforderlichen Bedingungen vorhanden ſind, und nehmen daher faſt immer ein größeres Volumen ein (Bellani in Zeitſch. 3. 481. Marx in Schweigg. J. 58. 454.), indem die Theile nun nicht mehr in jeder Lage neben einander im Gleichgewichte ſtehen, ſondern ſich an beſtimmten Puncten ſtärker anziehen als an anderen. Die Temperatur, bei der ſie feſt werden, ſtimmt in der Regel mit derjenigen überein, bei welcher ſie ſchmelzen, jedoch kann man einen flüſſigen Körper in einem enghalſigen Gefäße bei hinreichender Ruhe weit über den gewöhnlichen Gefrierpunct erkälten, ohne daß er feſt wird. So läßt ſich Waſſer bei — 10° C. tropfbar erhalten, aber die geringſte Erſchütterung bringt es zum Erſtarren.

227. Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wird beim Gefrieren wieder frei. Darum behält Waſſer, das langſam friert, während des ganzen Proceſſes ſtets die Temperatur von 0° C.; ja wenn es noch bei einigen Graden unter dem Eispuncte flüſſig erhalten worden iſt, ſo ſteigt ſeine Temperatur im Augenblicke des Gefrierens ſchnell auf 0° C. Noch auffallender zeigt dieſes eine geſättigte wäſſerige Glauberſalzlöſung. Wird dieſe bei der Siedhitze bereitet, dann luftdicht verſchloſſen und an einen ruhigen Ort gebracht, ſo erhält ſie ſich im tropfbaren Zuſtande. So wie man ſie aber erſchüttert oder mit einem feſten Körper berührt,

wird die Maſſe augenblicklich feſt und es tritt eine ſehr merkliche Erwärmung ein. Etwas ähnliches zeigt ſich beim Feſtwerden des ſalzſauren Kalkes. (Scholz Anfangsgründe der Phyſik. 3. Aufl. S. 461.) Aus dem beim Schmelzen und Feſtwerden der Körper Statt habenden Binden und Freiwerden der Wärme erklären ſich viele merkwürdige Phänomene: z. B. die fortwährende Kälte, welche man empfindet, wenn man Eis oder Schnee in die Hand nimmt; warum eine bleierne Kugel in Papier gewickelt über einer Kerzenflamme ſchmilzt, ohne daß das Papier angezündet wird ꝛc. ꝛc.

228. Wenn eine tropfbare Flüſſigkeit bis zu einem gewiſſen Grade erwärmt wird, ſo tritt jenes Phänomen ein, welches man das Sieden nennt und wobei die Flüſſigkeit den ausdehnſamen Zuſtand annimmt und ſich in Dunſt verwandelt. Wird, wie es gewöhnlich geſchieht, die Erwärmung von Unten angebracht; ſo macht ſich zuerſt die Luft von der Flüſſigkeit los, ſetzt ſich an die Wände in Geſtalt kleiner Bläschen an und entfernt ſich endlich aus der Flüſſigkeit. Hierauf ſieht man Dunſtbläschen vom Boden aufſteigen, doch verſchwinden ſie wieder in den oberen noch nicht hinreichend erhitzten Schichten, ſie verurſachen dadurch jenes Geräuſch, das dem Sieden vorhergeht und erwärmen zugleich die obere Flüſſigkeit. Iſt endlich die ganze Maſſe bis zum gehörigen Grade erwärmt, ſo ſteigen die Dunſtbläschen bis an die Oberfläche und verurſachen jenes Wallen und Blaſenwerfen, welches das Sieden characteriſirt. Flüſſigkeiten, die ſich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, ſchwellen beim Sieden an, weil die Dünſte dieſe Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen. Dieſe Dünſte haben gleich beim Entſtehen die ihrer Temperatur entſprechende größte Spannkraft.

229. Die Temperatur, bei welcher eine Flüſſigkeit ſiedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr laſtenden Drucke ab. So z. B. braucht Öhl eine höhere Temperatur zum Sieden als Waſſer, dieſes eine höhere als Weingeiſt, dieſer eine höhere als Schwefeläther. Der Siedpunct einer Flüſſigkeit wird durch chemiſche Verbindung mit einer anderen, die erſt bei einer höheren Temperatur ſiedet, erhöht. So z. B. ſiedet Waſſer in Verbindung mit Schwefelſäure ſchwerer als reines Waſſer, Weingeiſt mit Waſſer gemiſcht, ſchwerer als Alkohol; auch bei allen wäſſerigen Salzauflöſungen liegt der Siedpunct höher, als bei reinem Waſſer. Merkwürdig iſt es, daß eine Flüſſigkeit durch einen gepulverten

oder poröſen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihülfe eines ſolchen Mittels nöthige Temperatur beſitzt. — Da der entſtandene Dunſt nur bei der Dichte beſtehen kann, die er bei ſeinem Entſtehen hat, nicht aber bei einer größeren; ſo iſt nothwendig, daß er ſich von der Flüſſigkeit entferne und neuem Dunſte Platz mache, falls das Sieden fortdauern und daher ein Wallen Statt finden ſoll. Dieſes wird aber nur dann der Fall ſeyn, wenn er den Luftdruck zu überwältigen vermag. Daher hängt die Siedhitze einer Flüſſigkeit auch von dem Luftdrucke ab und wächſt mit dieſem Drucke. Darum ſiedet z. B. Waſſer in verdünnter Luft unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther ſchon bei der gewöhnlichen Temperatur in ſtark verdünnter Luft zum Sieden bringen und aus dieſem Grunde kocht das Waſſer im Pulshammer (einer luftleeren, Waſſer enthaltenden Glasröhre) ſchon, wenn man es mit der warmen Hand berührt. In einem luftdicht geſchloſſenen Gefäße, wie z. B. im Papin'ſchen Digeſtor, muß das Waſſer zum Sieden offenbar eine höhere Temperatur brauchen, weil die beim gewöhnlichen Siedpuncte entſtehenden Dünſte den auf dem Waſſer laſtenden Druck verſtärken helfen. Wenn der Druck der Dünſte ſo ſtark iſt, daß die Flüſſigkeit bei ihrer Temperatur noch nicht ſiedet, ſo fängt ſie augenblicklich zu wallen an, wenn man die Dünſte durch Erkältung verdichtet und ihre Expanſivkraft ſchwächt. Es iſt leicht einzuſehen, daß nach dieſem Grundſatze ſelbſt in verſchiedenen horizontalen Schichten derſelben tropfbaren Maſſe die Siedhitze verſchieden ſeyn müſſe.

Auf dem Montblanc ſiedet Waſſer ſchon bei $86\frac{1}{2}°$ *C.*, auf dem Pic von Teneriffa bei 88°.7 *C.*, in Quito bei 90°.1, in Mexico bei 92°.3, im Hoſpiz auf dem St. Bernhard hat ſiedendes Waſſer nur die Hitze von $92\frac{1}{4}°$ und man kann darin Rindfleiſch nicht weich kochen. Da die Siedhitze des Waſſers mit dem Luftdrucke und dieſer mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zuſammenhängt; ſo hat man ein ſehr empfindliches Thermometer (das $\frac{1}{1000}$ eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmeſſen empfohlen, wogegen ſich aber manches einwenden läßt. (Murray in Zeitſch. 1. 461.)

Tabelle der Sied- und Schmelzpuncte einiger Körper.

Schmelzpuncte.		Siedpuncte.	
Gußeiſen	11380° *C.*	Queckſilber	350° *C.*
Gold	2884	Leinöhl	315
Silber	2596	Schwefelſäure	310
Kupfer	2524	Phosphor	290
Meſſing	2092	Terpentinöhl	273
Zink	371	Kali	140
Blei	312	Bleizuckerlöſung	102
Zinn	227	Alkohol	79.7
Phosphor	37	Schwefeläther	37.8
Milch	— 1	Salpetrige Säure	28
Queckſilber	—39	Salpeteräther	20
Schwefeläther	—44	Schwefelige Säure	—10

230. Die Dunſtbildung beim Sieden erfolgt auf Koſten eines Antheils freier Wärme, welche gebunden wird. Davon überzeugt man ſich ſchon durch das einfache Factum, daß man unter denſelben Umſtänden die Temperatur einer ſiedenden Flüſſigkeit nicht weiter ſteigern kann. Vermehrt man den Zufluß der Wärme, ſo wird nur die Dunſtbildung verſtärkt, aber weder die Temperatur der Flüſſigkeit noch die des Dunſtes erhöht. Dieſe Wärme wird wieder frei, wenn der Dunſt in tropfbaren Zuſtand übergeht.

Man kann die Wärmemenge, welche beim Übergange einer gewiſſen Quantität von irgend einer tropfbaren Flüſſigkeit in Dunſt gebunden und beim entgegengeſetzten Proceſſe wieder frei wird, durch einen einfachen Verſuch beſtimmen. Man nehme den Apparat Fig. 259, fülle in *A* die Flüſſigkeit ein, welche ausdehnſam werden ſoll und laſſe die Dünſte durch die Röhre *B* in einen ſchlangenförmigen Anſatz *C* gelangen, der von einer beſtimmten Menge kalten Waſſers umgeben iſt, damit ſie daſelbſt zerſetzt werden und die gebundene Wärme an das Waſſer abgeben. Bedeutet nun T und M die Temperatur und Menge der Dünſte, t und m die Temperatur und Menge des Waſſers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Verſuche, t' die Temperatur desſelben nach dem Verſuche, x die von einer Dunſtmenge $= 1$ gebundene Wärme; ſo hat man:

$$M(T-t') + Mx = m(t'-t) \text{ oder } x = \frac{m(t'-t) - M(T-t')}{M}.$$

Auf dieſem Wege hat man gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um 1 Pf. Waſſer von 100° *C.* in Dunſt von derſelben Temperatur zu verwandeln, 1 Pf. Waſſer von 0° auf 531° *C.* bringen könnte. Auf gleiche Weiſe würde man mit der Wärme, womit 1 Pf. ſiedendheißen Alkohol oder Schwefeläther in

Dünſte verwandelt wird, erſteren um 332°, letzteren um 174°.5 *C.* erwärmen können. (*Despretz* in *Ann. de Ch.* 24. 323.) — Aus dem Binden der Wärme beim Sieden und dem Freiwerden derſelben bei der Zerſetzung der Dünſte erklären ſich viele Phänomene: Warum ein zinnernes Gefäß beim heftigſten Feuer nicht ſchmilzt, ſo lange Waſſer darin iſt, der Nutzen des Waſſerbades beim Erhitzen gewiſſer Körper, die Erhitzung des Kühlwaſſers beim Deſtilliren ꝛc.

231. Es iſt bekannt, daß Flüſſigkeiten nicht blos bei der Siedhitze, ſondern auch weit unter dieſer verdünſten, ja ſogar manche feſte Körper, wie z. B. Eis, Kampfer, Jod, liefern Dünſte bei einer Temperatur, bei welcher ſie nicht einmal tropfbar werden können, jedoch haben dieſe Dünſte nicht wie die beim Sieden der Flüſſigkeiten entſtehenden, gleich bei ihrer Entwicklung die größte Spannkraft und entſtehen auch nur an der Oberfläche ohne die mindeſte Bewegung der verdünſtenden Maſſe. Vor Kurzem war man noch der Meinung, daß Flüſſigkeiten bei jeder Temperatur verdünſten, aber Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüſſigkeit eine gewiſſe Temperatur gebe, unter welcher ſie keine Dünſte mehr liefert. So z. B. iſt Queckſilber unter 5° *R.*, Schwefelſäure bei der gewöhnlichen Luftwärme fix. Dieſe Grenztemperatur iſt diejenige, bei welcher die entſtehenden Dünſte eine Spannkraft haben, die mit ihrer Schwere und mit der Anziehung gleichartiger Theile unter einander im Gleichgewichte ſteht. So wie die Temperatur unter dieſe Grenze hinabſinkt, werden die Theile einer Flüſſigkeit oder eines feſten Körpers ſtärker nach abwärts oder zu den gleichartigen Theilen derſelben Maſſe hingezogen, als ſie durch ihr Beſtreben, expanſibel zu werden, aufwärts und von dem Reſte des Körpers weggetrieben werden kann. Wiewohl Waſſer beigemengte Öhle bei einer beſtimmten Temperatur fähig macht, überzudeſtilliren, ſo erhöht es doch bei dem gewöhnlichen Wärmegrade die Flüchtigkeit derſelben nicht. (Faraday in Zeitſch. 2. 226. Pogg. Ann. 19. 545.)

232. Im luft- und dunſtleeren Raume bildet ſich faſt augenblicklich von einer Flüſſigkeit ſo viel Dunſt, als darin beſtehen kann; enthält dieſer Raum aber ſchon Luft oder irgend einen anderen Dunſt, ſo wirken dieſe als mechaniſche Hinderniſſe den neu zu bildenden Dünſten entgegen und verzögern die Verdünſtung. Ganz unterdrückt wird ſie aber bei einer Temperatur, bei welcher die Flüſſigkeit noch nicht fix iſt, nur durch ſchon vorhandene Dünſte von der größten Spannkraft. Darum wird die Verdünſtung durch

Erhöhung der Temperatur, durch Wegſchaffen der ſchon gebildeten Dünſte, durch Verdünnen der Luft und durch Vergrößern der Oberfläche der verdünſtenden Flüſſigkeit geſteigert; darum befördert der Wind im Freien die Verdünſtung der Flüſſigkeiten ſo ſehr und darum verdünſtet eine gegebene Menge Waſſer ſchneller, wenn man ſie auf den Boden ſpritzt oder von einem Tuche, von Sand ꝛc. aufſaugen läßt, als wenn man ſie in einem engen Gefäße der Luft ausſetzt. Auf dem Verdünſten beruht das Trocknen naſſer Körper, das Graduiren der Salzſoolen ꝛc. Man begreift leicht, daß von einem Gemiſche zweier Flüſſigkeiten nicht jeder Beſtandtheil unter denſelben Umſtänden gleich ſchnell verdünſtet, daß z. B. Weingeiſt, Brantwein in offenen Gefäßen ſchwächer werden muß ꝛc., weil die Luft in der Regel wohl frei von Weingeiſt- aber nicht von Waſſerdünſten iſt und daher erſtere leichter entſtehen als letztere.

233. Bei der Dunſtbildung unter der Siedhitze wird eben ſo Wärme gebunden, wie beim Sieden, ja es braucht ſogar dieſelbe Dunſtmenge in beiden Fällen gleich viel Wärme zu ihrem Entſtehen. Da dieſe Wärme nicht wie beim Sieden von einer eigenen Wärmequelle zufließt, ſo muß ſie der nächſten Umgebung entriſſen werden. Deßhalb entſteht bei dieſer Verdünſtung ſtets eine Erkältung, welche deſto ſtärker iſt, je ſchneller ſich die Dünſte bilden und je mehr Wärme ſie zu ihrer Bildung brauchen. Dieſes beſtätiget die Erfahrung in unzähligen Fällen. Davon rührt die Kälte her, welche man nach einem Bade empfindet, die Abkühlung der Luft durch einen Regen oder durch Aufſpritzen von Waſſer, die Gefahr einer zu ſtarken Abkühlung nach dem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der Alkarazzas (poröſer Thongefäße) der Spanier, die Möglichkeit in einem ſehr ſtark erhitzten Raume auszuhalten, wie dieſes mit S o l a n d e r, B a n k s und B l a g d e n in einer Temperatur von mehr als 127° *C.* der Fall war. Setzt man ein Schälchen Waſſer in ein größeres Gefäß mit Schwefeläther und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, ſo kann man durch fleißiges Verdünnen der Luft das Waſſer zum Frieren bringen. Dasſelbe kann man auch erreichen, wenn man ſtatt des Äthers Schwefelſäure nimmt, welche die entſtandenen Waſſerdünſte abſorbirt. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, ſtellt ein Schälchen mit Schwefelſäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft, ſo kann eine bis zum Gefrieren des Queckſilbers

ſteigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünſten der flüſſigen ſchwefeligen Säure kann man Queckſilber zum Gefrieren bringen. Wollaſton's Kryophorus gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieſer beſteht (wie Rumford's Thermoſcop) aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden ſind. Eine derſelben enthält Waſſer, übrigens iſt der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, ſo friert das Waſſer in der anderen. Daniell's, Körner's, Leslie's Hygrometer beruhen auch auf der Wärmebindung beim Verdünſten.

D. Anwendung der Dünſte.

234. Die Geſetze der Dunſtbildung finden beim Deſtilliren ihre Anwendungen; der Dunſt ſelbſt aber wird zum Heizen und Trocknen und als bewegende Kraft bei Dampfmaſchinen angewendet.

235. Beim Deſtilliren hat man die Abſicht, eine Flüſſigkeit von einer anderen, minder flüchtigen zu trennen. Man bringt deßhalb zum Behufe der Deſtillation die gemiſchte Flüſſigkeit in ein eigenes Gefäß, welches Keſſel oder auch Blaſe genannt wird, und erhöht ihre Temperatur, bis der flüchtigere Beſtandtheil ſich in Dünſte verwandelt. Dieſe werden in einen eigenen Behälter, den Condenſator, geleitet, der meiſtens von kaltem Waſſer umgeben iſt und demſelben eine hinreichend große Oberfläche darbietet, damit ſie wieder in den tropfbaren Zuſtand übergehen. Man hat zu dieſem Behufe vielerlei Apparate; Fig. 260 ſtellt einen, Fig. 261 einen anderen dieſer Art vor.

236. Da der Dunſt, beſonders der Waſſerdunſt, ſo viele gebundene Wärme enthält, ſo wird er zur Fortleitung der Wärme vorzüglich gebraucht werden können; darum benützt man ihn auch zum Erhitzen von Flüſſigkeiten, wohl auch zum Erwärmen der Zimmerluft. Zu erſterem Zwecke wird der in einem eigenen Keſſel erzeugte Waſſerdunſt durch mehrere Röhren unmittelbar in die Flüſſigkeit geleitet, welche erwärmt werden ſoll, oder wenn dieſes nicht angeht, ſo läßt man den Dunſt nur die Wände des Gefäßes berühren, welches dieſe Flüſſigkeit enthält In jedem Falle erreicht man den Vortheil, daß man für mehrere abgeſonderte Maſſen dieſer Flüſſigkeit nur einen Hauptkeſſel und eine Feuerſtelle braucht. Fig. 262 ſtellt einen ſolchen Waſſerkeſſel, in welchem die Dünſte

erzeugt werden, ſammt dem Füllapparate vor. *A* iſt der Keſſel, *B* ein Waſſerbehälter, welcher durch eine Röhre *C* mit dem Inneren des Keſſels communicirt und letzteren mit Waſſer verſieht. Dieſe Röhre iſt durch einen Kegel geſchloſſen, welcher an einer Stelle *b* des einarmigen Hebels *abc* befeſtiget iſt. Dieſer Hebel hat am freien Ende *c* eine hohle Metallkugel, welche im Waſſer ſchwimmt, und, indem ſie an deſſen Oberfläche erhalten wird, die Röhre *C* ſchließt, ſobald eine hinreichende Waſſermenge im Keſſel iſt, widrigenfalls aber neues Waſſer nachfließen läßt. *D* ſind Röhren, durch welche der Dunſt an ſeinen Beſtimmungsort geführt wird.— Zum Behufe der Heizung wird der Dunſt aus einem eigenen Keſſel durch Röhren geleitet, welche durch die zu heizenden Zimmer gehen. Das aus der Verdichtung der Dünſte entſtehende Waſſer wird wieder in den Keſſel zurückgeführt.

237. Die wichtigſten Dienſte leiſtet der Waſſerdunſt durch ſeine Expanſivkraft, indem er dadurch das bewegende Princip der Dampfmaſchinen wird. Die weſentlichen Beſtandtheile einer Dampfmaſchine ſind: Der Keſſel, der Dampfcylinder mit dem Kolben und der Condenſator. Der Keſſel enthält das Waſſer, welches in Dunſt verwandelt werden ſoll und befindet ſich deßhalb über einem eigenen Feuerherde, er iſt auch mit mehreren Röhren verſehen, wovon einige dazu dienen, um den Waſſerſtand und die Expanſivkraft der vorhandenen Dünſte anzuzeigen, andere um das Waſſer zuzuleiten, endlich eine, wodurch die Dünſte vom Keſſel in den Dampfcylinder gehen. Dieſer enthält den Kolben, welcher luftdicht an die Wände des Cylinders anſchließt und durch die Expanſivkraft der Dünſte bewegt wird. Er iſt oben und unten luftdicht verſchloſſen und ſelbſt die Kolbenſtange geht durch eine gut ſchließende Stopfbüchſe. Mit dieſer Kolbenſtange ſteht alles in mittelbarer oder unmittelbarer Verbindung, was durch die Dampfmaſchine bewegt werden ſoll. Die Dünſte, welche bereits ihre Wirkung gethan haben, kommen vom Cylinder in den Condenſator, wo ſie mittelſt kalten Waſſers verdichtet werden.

238. An einigen Dampfmaſchinen wird der Kolben nur nach einer Richtung durch die Dünſte getrieben, nach der entgegengeſetzten muß er durch das Übergewicht der Maſchinentheile, vorzüglich des Balanciers, bewegt werden. Dieſe nennt man Maſchinen mit einfacher Wirkung. Bei anderen treiben die Dünſte den Kolben abwechſelnd nach einer und nach der entgegengeſetz-

ten Richtung und dieſe heißen Maſchinen **mit doppelter Wirkung**. In einigen Maſchinen iſt die Spannkraft der arbeitenden Dünſte um ein Geringes größer, als der Druck der Atmoſphäre, bei anderen überſteigt ihre Expanſivkraft dieſen Druck 2, 3, ja 10 und mehrmal. Erſtere nennt man Maſchinen **mit niederem Drucke**, letztere Maſchinen **mit hohem Drucke**. An einigen Dampfmaſchinen können die Dünſte aus dem Keſſel ſo lange in den Cylinder treten, als ſich der Kolben hebt oder ſenkt, bei anderen wird dieſer Zutritt gehemmt, wenn der Kolben etwa auf halbem Wege iſt, und der Expanſion der Dünſte die fernere Bewegung des Kolbens überlaſſen. Solche Maſchinen führen darum den Namen **Expanſionsmaſchinen**.

Wenn man eine Vorrichtung, bei welcher Waſſerdünſte eine Bewegung hervorbringen, eine Dampfmaſchine nennen will, ſo iſt **Hero** von Alexandrien, der 120 Jahre v. Ch. lebte, der Erfinder derſelben; denn in der von ihm angegebenen Maſchine wird eine hohle mit Waſſerdunſt gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausſtrömenden Dampfes in drehende Bewegung geſetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, ſo beginnt die Geſchichte der Dampfmaſchinen mit einem Patente, welches **Savery**, ein engliſcher Capitän, i. J. 1698 auf eine Maſchine erhielt, in welcher mittelſt Waſſerdünſten die Luft aus einem Pumpenſtiefel vertrieben und hierauf durch Abkühlen der Dünſte ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Waſſer aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporſtieg. (**Arago** hält **Caus** für den Erfinder der Dampfmaſchine.) Dieſe in jeder Hinſicht ſehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch **Newcomen** i. J. 1705 dadurch weſentlich verbeſſert, daß er über dem Dampfkeſſel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch die Dünſte gehoben wurde, und wenn er den höchſten Punct erreicht hatte und durch eingeſpritztes Waſſer die Dünſte verdichtet waren, durch den Druck der Atmoſphäre wieder hinabſank. Durch abermaliges Zulaſſen der Dünſte konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten derſelben wieder zum Sinken gebracht und ſo eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Anfangs mußte man den Hahn, welcher die Dünſte in den Cylinder treten ließ oder ihnen dieſen Weg verſperrte, mit freier Hand bewegen, aber ein Knabe, Humphry **Potter**, der dieſem Geſchäfte keinen Geſchmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maſchine ſelbſt zu übertragen und führte ihn alſogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelſt Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieſer Verbeſſerung war die genannte Maſchine noch immer mangelhaft; insbeſondere verurſachte das

Einſpritzen des Waſſers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine ſehr große Abkühlung. Dieſe vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht ſchloß, die Kolbenſtange durch eine Stopfbüchſe gehen ließ und ſo der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des Condenſators, der neben dem Cylinder befindlich, die Dünſte von ihm aufnahm und ſie durch eigens eingeſpritztes Waſſer verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Waſſer in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maſchine zu Arbeiten geeignet, bei denen nur ein Zug nach einer Richtung nöthig iſt, wie z. B. zum Waſſerheben, man konnte ſie aber nicht zum Betriebe von Maſchinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung der Dünſte nur einſeitig war. Watt ſetzte ſeinen Verbeſſerungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maſchinen baute und ſie demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirte. Später hat er auch das Princip der Expanſion bei ſeinen Maſchinen angewendet. Eine Watt'ſche Dampfmaſchine mit doppelter Wirkung ſtellt Fig. 263 vor. Von der Röhre *A* kommen die Dünſte durch *a* oder *b* mittelſt des Hahnes *c*, in den Cylinder *B* und bewegen den Kolben *C*, mit deſſen Stange *E* der Balancier *F* in Verbindung ſteht, welcher dem Schwungrade *G* ſeine Bewegung mittheilt. Die Dünſte, welche ausgedient haben, gelangen durch die Röhre *d* in den Condenſator *H*, welcher in einer Ciſterne *M* mit kaltem Waſſer ſteht und dieſes durch den Injectionshahn *e* eingeſpritzt erhält. Das im Condenſator erwärmte Waſſer wird nebſt der entwickelten Luft durch die Pumpe *I* herausgepumpt und ein Theil davon in den Behälter *K* gebracht, von wo es durch eine andere Pumpe *f* in den Dampfkeſſel gelangt und zur Speiſung desſelben dient. Der Ciſterne führt die Pumpe *L* kaltes Waſſer zu. Alle dieſe Pumpen ſtehen mit dem Balancier in Verbindung und werden durch ihn in Thätigkeit geſetzt. Bei der abgebildeten Stellung des Hahnes *c* gelangen die Dünſte aus dem Keſſel unter den Kolben und die über dem Kolben befindlichen in den Condenſator. Macht dieſer Hahn eine Vierteldrehung, ſo bekommt er die Stellung, welche *N* zeigt, und dann können die Dünſte unter den Kolben treten und die über ihm befindlichen in den Condenſator gelangen.

Bei der Watt'ſchen Dampfmaſchine wirkt der Dunſt ſelbſt in dem Falle, wo man ihn abſperrt, bevor noch der Kolben ſeine ganze Bewegung vollbracht hat, keineswegs mit aller Kraft, die er durch Expanſion auszuüben im Stande iſt. Um dieſe Kraft in ihrer ganzen Größe zu benützen, hat Woolf zwei Dampfcylinder mit einander verbunden, wie ſie Fig. 264 vorſtellt, deren einer 5—8mal mehr Capacität hat als der andere. Die Dünſte kommen vom Dampfkeſſel zuerſt in den kleineren Cylinder, z. B. über den Kolben und drücken ihn hinab. Dabei gelangen die unter dem Kol-

ben befindlichen Dünſte in den zweiten größeren Cylinder über den Kolben und treiben dieſen durch ihre Expanſion ebenfalls abwärts. Haben die Kolben ihren unterſten Platz erreicht, ſo wirken die Dünſte in dem erſten Cylinder von Unten und die oberhalb desſelben befindlichen werden unter den Kolben des zweiten Cylinders getrieben, um auch dieſen zu heben. Auf ähnliche Weiſe haben Aitkin und Steel drei Cylinder neben einander angebracht. Die Kraft, mit welcher die Dünſte im größeren Cylinder bei ihrer Ausdehnung wirken, iſt reiner Gewinn. Alle dieſe Maſchinen ſind aber zu voluminös und zu ſchwer, als daß man ſie zu Bewegungen benützen könnte, wo ſie ſelbſt ihren Ort ändern müſſen, wie z. B. zu Dampfwägen und Dampfſchiffen. Trevithick hat zuerſt in England und Evans in Amerika Maſchinen mit ſo hohem Drucke gebaut, daß man die Dünſte aus dem Dampfcylinder unmittelbar in die Atmoſphäre hinauslaſſen und daher den Condenſator ganz entbehren konnte. Unter den neueren Verbeſſerungen der Dampfmaſchinen hat keine mehr Aufſehen erregt, als die von Perkins im Jahre 1823 bekannt gemachte, wiewohl über die eigentlichen Vortheile dieſer Maſchine noch bis zum heutigen Tag kein zuverläſſiges Reſultat bekannt gemacht wurde. Perkins Dampfmaſchine hat keinen Dampfkeſſel, ſondern dafür ein im Feuer ſtehendes Gefäß von Kanonengut mit drei Zoll dicken Wänden, das er Generator nennt. Das Waſſer wird in dieſem Gefäße ſo erhitzt, daß es, wenn eine kleine Portion desſelben durch eine Druckpumpe herausgetrieben wird, Dünſte liefert, die gegen einen Q. Zoll mit der Kraft von 500 Pfunden drücken. Dieſe Dünſte treten in einen 18 Z. langen, 2 Z. weiten Cylinder und treiben den Kolben in einer Min. 200mal hin und her mit einer Kraft von 10 Pferden. Endlich muß noch einer Maſchine gedacht werden, in welcher man ſtatt der Waſſerdünſte tropfbare Kohlenſäure anwendet, die unter gewiſſen Umſtänden ausdehnſam wird und mit ungeheurer Kraft auf einen Kolben wirkt. Es iſt kein Zweifel, daß ſolche Maſchinen an Kraft alle ſogenannten Dampfmaſchinen weit übertreffen würden, wenn nicht beſondere Umſtände ihre Einrichtung ſchwierig machten.

239. Um den Effect einer Dampfmaſchine zu berechnen, braucht man nur die Expanſivkraft der Dünſte im Dampfcylinder und im Condenſator und die den Dünſten dargebotene Fläche des Kolbens zu kennen. Jene Expanſivkräfte erkennt man aus der Temperatur des Waſſers im Keſſel und im Condenſator, mittelſt der S. 168 mitgetheilten Tabelle. Bei den gewöhnlichen Maſchinen mit Condenſatoren erleidet der Kolben durch die Dünſte einen Druck, welcher dem Drucke einer Queckſilberſäule gleich kommt, deren Baſis der gedrückten Kolbenfläche, deren Höhe dem Unterſchiede der Expan-

ſivkräfte der Dünſte im Keſſel und Condenſator gleich kommt. Bei Dampfmaſchinen ohne Condenſator hat man ſtatt des Gegendruckes der nicht verdichteten Dünſte den der Atmoſphäre zu ſetzen. Jener Druck wird aber keineswegs ganz zur Erzeugung der nützlichen Wirkung der Maſchine verwendet, ſondern es muß davon jener Theil abgezogen werden, welcher nöthig iſt, um der Reibung des Kolbens das Gleichgewicht zu halten und die Hülfspumpen zu bewegen. Der Reſt dient dann eigentlich als nützliche bewegende Kraft und von dieſer hängt der Effect der Maſchine ab. Dieſen Effect ſchätzt man in der Regel durch das Gewicht reinen Waſſers, welches die Maſchine in einer Minute einen Fuß hoch hebt oder, wiewohl minder zweckmäßig und weniger beſtimmt, nach der Anzahl der Pferde, deren Arbeit ſie verrichtet. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß es bei einer Maſchine nicht allein auf den Effect, ſondern auch auf die Conſumtion des Brennmaterials ankommt, durch welche man ihn erzielt, und daß von zwei Maſchinen offenbar jene vorzuziehen ſeyn werde, welche denſelben Effect mit dem geringſten Bedarf an Brennmateriale leiſtet. Der Bedarf desſelben ſteht nicht immer mit den Leiſtungen einer Maſchine im geraden Verhältniſſe. Eine Maſchine mit der Kraft von hundert Pferden bedarf nicht zehnmal mehr Brennmaterial, als eine von zehn Pferdekräften, und Maſchinen mit hohem Druck bedürfen nicht in demſelben Verhältniſſe mehr Brennſtoff, als ſie mehr leiſten. Darum und weil ſie viel weniger Raum einnehmen, werden letztere faſt allgemein erſteren vorgezogen, und wo dieſes nicht geſchieht, liegt der Grund in der größeren Gefahr des Zerſpringens. Indeß kennt man heut zu Tage ziemlich zuverläſſige Mittel, ſolchen Unglücksfällen vorzubeugen, wie z. B. die Anwendung gut unterhaltener Sicherheitsventile, den Gebrauch von Zapfen aus leicht flüſſigem Metalle, Vermeidung gußeiſerner Keſſel, vorzüglich zweckmäßige Einrichtung und öftere Unterſuchung der Waſſer zuführenden Pumpen. (Zeitſch. 7. 477.) Durch Vervollkommnung der einzelnen Theile der Dampfmaſchinen hat man ungemeine Erſparungen an Brennmateriale ohne Beſchränkung der Leiſtungen erzielt.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin Mechanik B. 3 S. 344) eine Maſchine der beſten Art nach Watt's Conſtruction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15,760000 Pf. Waſſer, im J. 1815 hatte man ſie ſchon ſo weit verbeſſert, daß dieſe Wirkung auf 20,766000 Pf. ſtieg, ja mittelſt einer nach Woolf's

Princip conſtruirten Hochdruckmaſchine erlangte dieſe Wirkung die Größe von 46,255250 Pf. In England hebt die beſte, nach alter Art conſtruirte Maſchine mit 1 Bushel (1.7 Metzen) Kohlen 40 Mill. Pf. Waſſer 1 Fuß hoch, eine neuere Maſchine hebt aber mit demſelben Kohlenbedarfe 61,764166. Bei einer von Groſe in Cornwallis erbauten Dampfmaſchine, die ihrer Güte wegen berühmt iſt, kommt dieſe Wirkung gar auf 92,327000 Pf. (*Phil. mag.* 2. 309. 7. 425.) Mit den im Jahre 1823 in England gangbaren Dampfmaſchinen würde man die 186 Mill. Zentner wiegende egyptiſche Pyramide, deren Bau 100.000 Menſchen durch zwanzig Jahre beſchäftigte, mit 36,000 Menſchen in achtzehn Stunden aufbauen können. — (Bernoulli Anfangsgründe der Dampfmaſchinenlehre. Baſel, 1824. Dupin Geometrie und Mechanik. Straßburg, 1826. B. 3.)

Viertes Kapitel.

Quellen der Wärme und Kälte.

240. Die Quellen der Wärme auf der Erde ſind: 1) Die Sonne. 2) Stoß und Reibung. 3) Chemiſche Wirkung. 4) Electricität. 5) Der Lebensproceß.

241. Daß die Sonnenſtrahlen erwärmen, iſt eine Erfahrung, welche wahrſcheinlich mit dem Menſchengeſchlechte ein gleiches Alter hat, daß aber ihre erwärmende Kraft, unter übrigens gleichen Umſtänden, in dem Maße zunimmt, in welchem ſie von Körpern abſorbirt werden, iſt wahrſcheinlich eine viel jüngere Kenntniß, von deren Richtigkeit wir durch unzählige Erfahrungen überzeugt werden. Wenn man von zwei Thermometern, die ganz mit einander übereinſtimmen, die Kugel des einen ſchwärzt und ſie dann beide in einen von der Sonne beſchienenen Ort bringt; ſo ſteht das Queckſilber in dem mit der geſchwärzten Kugel bedeutend höher, als im anderen. Legt man Tuchlappen von verſchiedener Farbe über Schnee und läßt ſie von der Sonne beſcheinen, ſo ſchmilzt der Schnee immer zuerſt unter den dunkleren Lappen. Schwarze Kleider ſind bei Sonnenſchein wärmer als lichte, ſchwarzes Holz erhitzt ſich im Sonnenlichte ſtärker als anderes. Geſchwärzte Eier kann man in der heißen Zone im Sande ſieden. Stellt man mehrere Glasſtürze über einander und bringt ſie in directes Sonnenlicht, nachdem man in dem inneren Raume des innerſten ein Thermometer aufgehängt hat; ſo findet man daſelbſt die Wärme viel größer als

von Außen. Sauſſure hat auf dieſe Weiſe eine Erwärmung von 87° *R.* hervorgebracht, während die Temperatur der Atmoſphäre nur 20° *R.* betrug. Bei gleicher Beſchaffenheit der vom Lichte beſchienenen Körper hängt die Stärke der Erwärmung von der Dichte des auffallenden Lichtes ab; darum kann man mittelſt Converlinſen und Hohlſpiegel eine Temperatur hervorbringen, der faſt kein Körper zu widerſtehen vermag. Nach Ramond wirken ſolche Inſtrumente beſſer in großen Höhen als in tiefer liegenden Gegenden, wahrſcheinlich weil in erſteren die Luft reiner iſt und weniger abſorbirt. Nach Flaugergues erwärmen die Sonnenſtrahlen gleich ſtark, ſie mögen von der Mitte oder vom Rande der Sonnenſcheibe kommen.

Dieſes Verhalten ſchwarzer Körper hat ſchon früher Pictet und neueſtens Leslie zur Beſtimmung der Intenſität des Lichtes angewendet. Wird nämlich an dem Differenzial-Thermometer von Leslie eine Kugel geſchwärzt, während die andere ihre natürliche Beſchaffenheit beibehält; ſo wird jene im Lichte mehr erwärmt, als dieſe, wenn auch beide gleich ſtark beſchienen werden, und zwar iſt der Unterſchied der Erwärmung, welcher ſich aus dem Stande der Flüſſigkeit im Thermometer abnehmen läßt, deſto größer, je intenſiver das Licht auf die Kugeln wirkt, und man kann den Unterſchied zwiſchen den ſtationären Temperaturen beider Kugeln der Intenſität des Lichtes proportional ſetzen. Dieſes Inſtrument iſt demnach ein Photometer. Mittelſt deſſen fand Leslie das Sonnenlicht 12000mal ſtärker, als das einer Wachskerze. (Kurzer Bericht von Verſuchen und Inſtrumenten, die ſich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von John Leslie. Leipzig, 1823. S. 58 u. ſ. w.)

242. Herſchel's Verſuche zeigten, daß auch das verſchiedenfarbige Sonnenlicht eine verſchiedene erwärmende Kraft beſitze. Hängt man in den verſchiedenen Farbenſtreifen des prismatiſchen Farbenbildes empfindliche Thermometer auf; ſo überzeugt man ſich, daß die Wärme im rothen Strahle am größten ſey und von da gegen den violetten zu merklich abnehme. Dieſe Erſcheinung veranlaßte Herſchel zu der Annahme, daß die Sonnenſtrahlen außer den leuchtenden auch noch dunkle, blos erwärmende enthalten, die von jenen bei der Brechung getrennt werden. Seebeck lehrte zuerſt, daß der Punct der größten Wärme auch von der Materie des Prisma's abhänge. So fällt der wärmſte Punct außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas beſteht, hingegen in das Roth ſelbſt, wenn das Prisma aus Crownglas, aus gewöhnlichem

weißen Glaſe gemacht iſt, oder gar in Gelb bei einem durch Glasſcheiben gebildeten, mit Waſſer, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwiſchen Roth und Gelb, wenn dieſes hohle Prisma mit ſtarker farbloſer Schwefelſäure oder mit einer klaren Löſung von Queckſilberſublimat gefüllt iſt. Der erſte Fall thut dar, daß ſich das Sonnenlicht über die äußerſte rothe Grenze des Spectrums hinaus erſtrecke, wiewohl es da von unſeren Augen nicht mehr als Licht wahrgenommen wird. Man kann die am meiſten erwärmende Stelle im prismatiſchen Farbenbilde leicht entdecken, wenn man eine Sammellinſe von ſehr großer Öffnung in der Mitte mit einer Papierſcheibe deckt ſo, daß nur ein Ring von ihr übrig bleibt, der ein kreisförmig gebogenes, dreiſeitiges Prisma vorſtellt, auf dieſe Linſe directes Sonnenlicht fallen läßt und das hinter ihr entſtehende kreisförmige Spectrum auf ein mit Wachs überzogenes Papier fallen läßt. Da wo die Erwärmung am ſtärkſten iſt, fängt das Wachs zuerſt zu ſchmelzen an. Den Strahlen der Sonne analog verhalten ſich auch die anderer leuchtender Körper. Nach Powell ſendet jeder ſolche Körper nebſt den Lichtſtrahlen zweierlei Wärmeſtrahlen aus; die einen gehen durch Glas und andere durchſichtige Körper und werden wie Lichtſtrahlen gebrochen, die anderen werden von jedem durchſichtigen feſten oder tropfbaren Körper zurückgehalten. (Herſchel's Unterſuchungen über die Natur der Sonnenſtrahlen. Celle, 1801. Seebeck über die Wärme im prismatiſchen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin, 1820. S. 393 u. ſ. w.)

Außer der erwärmenden Wirkung der Sonnenſtrahlen bemerkte Scheele noch eine andere, welche dem farbigen Lichte zukommt. Er fand nämlich, daß ein Papier, welches mit Chlorſilber, das in Geſtalt eines weißen Salzes erſcheint, beſtrichen iſt, im rothen Strahle gar nicht geändert, im violetten hingegen vorzüglich ſtark geſchwärzt wird. Dieſe Wirkung kommt dem Lichte rein als ſolchem zu und fehlt dort ganz, wo das Licht ſeiner leuchtenden Kraft beraubt wird. So fand Arago, daß Chlorſilber an der Stelle, wo es von zwei Sonnenſtrahlen getroffen wird, die ſich durch Interferenz aufheben, keine Veränderung erleide. Dieſer Umſtand erſchwert die gewöhnliche Erklärung der chemiſchen Wirkungen des Lichtes nach der Emanationshypotheſe nicht wenig und hat dieſe Hypotheſe nun auch jener Stütze beraubt, auf welcher die Hoffnung vieler ihrer Verehrer beruhte. Seebeck machte die Erfahrung, daß das Chlorſilber im rothen Lichte in dem Theile des prismatiſchen Farbenbildes, wo die ſtärkſte Hitze herrſcht, roſenroth gefärbt wer-

de, und überzeugte ſich, daß Sonnenlicht, welches durch ein farbiges Glas geht, dieſelben Wirkungen hervorbringe, wie das gleichfarbige Licht im Farbenbilde. Die Röthung des Chlorſilbers ſoll da ſogar noch ſchneller erfolgen, als im Farbenbilde. Setzt man ein Gemenge von Chlorgas und Waſſerſtoffgas directen violetten Sonnenſtrahlen aus, ſo erfolgt ihre Verbindung plötzlich mit einer ſtarken Exploſion. Weißes Sonnenlicht wirkt wohl ebenfalls, aber nur wegen ſeines violetten Antheils (1). Man will überdieß noch andere Erſcheinungen aufgefunden haben, welche einen Gegenſatz zwiſchen den chemiſchen Wirkungen an den beiden Enden des Farbenbildes darthun ſollen, allein man kann hierüber noch keineswegs mit voller Sicherheit urtheilen.

243. Wenn man auf einen feſten Körper einen ſchnellen Stoß ausübt, ſo wird er in der Regel erwärmt. Percuſſionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallſalze entzünden ſich ſchon beim geringſten Stoße; eine Eiſenſtange kann durch bloßes Hämmern bis zum Glühen erhitzt werden. Durch den Stoß eines Stahlſtückes gegen einen harten Stein werden Theile von erſterem abgeſchlagen und zum Glühen gebracht, daher ſie als Feuerfunken erſcheinen. Bei dem gewöhnlichen Feuerſchlagen bedienen wir uns dieſes Mittels. Die Luft, auf ein Fünftel ihres Volumens ſchnell zuſammengedrückt, erhitzt ſich ſo ſehr, daß ſie einen Feuerſchwamm anzuzünden vermag (wozu eine Temperatur von nahe 288° *C.* gehört), wie man dieſes beſonders am ſogenannten Luftfeuerzeuge (einem einerſeits geſchloſſenen, hohlen Cylinder mit einem luftdicht ſchließenden Kolben) ſieht. Ähnliche Wirkungen bringt die Reibung hervor. Eiſerne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, erwärmen ſich beim Gebrauche, ein Mühlſtein kann ſich beim Leergehen bis zur Entzündung des Holzwerkes erhitzen, ungeſchmierte Wagenaxen und die Zapfen ſchnell bewegter Maſchinenräder thun dasſelbe. Zwei Stücke Holz kann man durch Aneinanderreiben in Flammen ſetzen. Ein Radſchuh wird beim Gebrauche ſo heiß, daß man ihn nicht ungeſtraft berühren darf. Nach Rumford kann man durch Reibung eine unbeſchränkte Wärmemenge entwickeln. Als ein meſſingener Cylinder in einer Höhlung, die 18 Pf. Waſſer enthielt, ſo ſchnell herumgedreht wurde, daß er in einer Minute 32 Umdrehungen machte, ſtieg die Temperatur des Waſſers in einer Stunde von 60° *F.* bis 130° und in zwei Stunden bis zur Siedhitze. Davy rieb im leeren Raume bei 0° *C.* zwei Eisſtücke an einander und brachte ſie dadurch zum Schmelzen. Merkwür-

dig iſt die von Pictet gemachte Erfahrung, daß manche weiche Subſtanzen beim Reiben mehr Wärme entwickeln, als harte.

244. Die durch Stoßen erzeugte Wärmeentwicklung hat ihren Grund in der dadurch bewirkten Verdichtung der Körper, mithin in der Verminderung ihrer Capacität. Daß bei dieſer Operation eine Verdichtung eintrete, iſt theils aus der Natur der Sache erſichtlich, theils durch directe Verſuche erweislich. Ein Metall hat immer nach dem Hämmern eine größere Dichte als vor demſelben (Tabelle auf Seite 125). Die Wärmemenge, welche durch Compreſſion eines Gaſes entwickelt wird, kann man nach dieſem Principe ſogar berechnen; ſie muß nämlich ſo groß als diejenige, die das Gas braucht, um ſein voriges Volumen wieder zu erlangen. Heißt die Wärmemenge, die es bei dem um $\frac{1}{267}$ verminderten Volumen hat $= 1$, die beim urſprünglichen Volumen $= 1 + x$, ſo iſt offenbar $1 + x$ zu 1, wie die Capacität C unter conſtantem Drucke zur Capacität c unter conſtantem Volumen. Es iſt aber für chemiſch einfache Gaſe $\frac{C}{c} = 1.421$, mithin $1 + x : 1 = 1.421 : 1$ und daher die bei der Compreſſion um $\frac{1}{267}$ des urſprünglichen Volumens bei $0°$ C. entwickelte Wärmemenge $x = 0.421$. Für zuſammengeſetzte Gaſe iſt dieſe Wärmemenge eine andere als für einfache, doch ſcheint ſie wieder für alle zuſammengeſetzte gleich zu ſeyn und 0.337 der beim urſprünglichen Volumen vorhandenen Wärmemenge zu betragen. Kennt man einmal die durch Compreſſion von $\frac{1}{267}$ entwickelte Wärmemenge, ſo läßt ſich die für jede andere Compreſſion berechnen, indem ſie mit der Compreſſion gleichen Schritt hält. Die aus dieſer Wärmeentwicklung hervorgehende Erwärmung ſteht im verkehrten Verhältniſſe mit der ſpecifiſchen Wärme des Gaſes. — Ein feſter Körper erwärmt ſich durch Stoßen nur ſo lange, als er dadurch verdichtet wird. Hat er einmal eine gewiſſe Dichte erreicht, ſo kann er durch die Kraft, wodurch er ſie erreichte, nicht weiter verdichtet werden und ſie iſt auch nicht weiter im Stande, ihn zu erwärmen. Darum wird ein Körper auch durch den erſten Stoß mehr erwärmt als durch einen zweiten ꝛc. Nach Berthollet erhitzte ſich eine Silberplatte durch den erſten Stoß eines Stempels um $9°.6$ $C.$, durch den zweiten um $4°.06$, durch den dritten um $1°06$. Für eine Kupferplatte betrug dieſe Temperaturerhöhung $1°.56$, $2°.60$, $0°81$. Körper, welche durch die uns zu Gebothe ſtehenden Kräfte nicht

ſtark verdichtet werden können, erhitzen ſich auch durch Stöße nur unbedeutend; darum wird eine tropfbare Flüſſigkeit durch Stöße nicht merklich erwärmt. Den inneren Verlauf der Sache bei der Wärmeerregung durch Reibung kennt man keineswegs ſo gut, wie den beim Stoße. Mit der Reibung ſcheint zwar die Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten und nach Moroſi wächſt die Wärme mit der Dauer der Reibung, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe als dieſe Dauer; aber man kann nicht annehmen, daß die ſich reibenden Körper ſo lange an Dichte zunehmen, als die Reibung anhält, wiewohl anfangs eine Verdichtung Statt haben mag. Die Wärmeerregung iſt zwar deſto intenſiver, je mehr die ſich reibenden Körper zuſammengedrückt werden, aber auch bei einem ſehr ſanften Drucke kann man bei hinlänglicher Geſchwindigkeit eine ſtarke Erwärmung zu Stande bringen.

245. Es iſt leicht einzuſehen, daß, weil durch Verdichtung der Körper Wärme entſteht, ihre Verdünnung die Quelle von Kälte werden müſſe. Legt man ein dünnes Streifchen Koutſchouc auf die Lippen und verdünnt es durch einen ſchnellen Zug; ſo empfindet man die dabei Statt habende Erkaltung. Verdichtet man Luft in einem Gefäße ſehr ſtark, läßt ſie hierauf bis zur Temperatur der Atmoſphäre abkühlen und dann durch eine kleine Öffnung herausdringen; ſo erkaltet ſie ſich dabei ſo ſehr, daß ſie Waſſer in einer kleinen Glaskugel zum Gefrieren zu bringen vermag. Es wird aber dazu erfordert, daß dabei nicht blos die herausdringende, ſondern auch die im Gefäße zurückbleibende Luft dünner werde. Die ſtark geſpannten aus einem Dampfkeſſel ins Freie herausſtrömenden Dünſte fühlen ſich kalt an. Läßt man ſtark verdichtetes Gas in einen langen Cylinder überſtrömen, ſo erwärmt ſich dieſer an dem Ende, wo das Gas einſtrömt und erkältet ſich am entgegengeſetzten.

246. Durch chemiſche Einwirkung der Stoffe auf einander wird faſt immer Wärme oder Kälte erzeugt. Dieſes wird wohl begreiflich, wenn man bedenkt, daß mit der chemiſchen Miſchung und Scheidung faſt immer Änderungen im Aggregationszuſtande der Körper und in ihren Capacitäten vorgehen. Hieher gehörige Beiſpiele gibt es unzählige. Lebendiger Kalk und Schwefelſäure erhitzen ſich mit Waſſer, Kalk, Baryt und Strontian können durch Beimiſchung von Schwefelſäure gar glühend werden, Terpentinöhl wird durch ſtarke Salpeterſäure bis zur Entzündung erhitzt, chlorigſaures Kali gibt in Berührung mit Schwefelſäure

eine bedeutende Hitze, Weingeiſt erwärmt ſich mit Waſſer ꝛc. ꝛc. Hierauf beruhen auch die ſogenannten kaltmachenden Miſchungen.

Bei einer Miſchung von	fällt die Temperatur	
3 Th. Salmiak, 5 Salpeter, 16 Waſſer	von + 10°	bis — 10° *R.*
3 „ Glauberſalz, 2 Salpeterſäure	„ 10	„ — 12
8 „ „ 5 Salzſäure	„ 10	„ — 14
1 „ Schnee, 1 Kochſalz	„ 0	„ — 14
3 „ ſalzſaurem Kalk, 2 Schnee	„ 0	„ — 36
1 „ Schnee, 1 Schwefelſäure	„ — 5	„ — 41
1 „ „ 1 Salpeterſäure	„ — 14	„ — 35
2 „ ſalzſaurem Kalk, 1 Schnee	„ — 14	„ — 44

Die Änderungen der Temperatur bei chemiſchen Proceſſen und bei der Änderung des Aggregationszuſtandes eines Körpers ſind gewöhnlich ſehr bedeutend, und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber ſolche Änderungen, die nur in einem ſehr geringen Grade und zwar dann Statt finden, wenn feſte Körper von Flüſſigkeiten benetzt, oder wenn flüſſige Stoffe eingeſogen werden, ſo daß man das Benetzen und Eingeſogenwerden gleichſam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers anſehen kann. — Die erſten Erfahrungen im Reiche dieſer Phänomene machte Pouillet mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°.01 *C.* bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einſaugen immer Wärme frei werde. Iſt die netzende Flüſſigkeit Waſſer, ſo iſt für alle unorganiſche Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von ¼° bis ½° enthalten, es finden aber faſt dieſelben Grenzen Statt, wenn man ſtatt Waſſer, Öhle, Alkohol, Eſſigäther nimmt. Bei der Abſorption iſt die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht vorausſehen kann, wenn man bedenkt, daß ſie eigentlich ein verſtärktes Benetzen iſt. (Schweigg. J. 36. 193.)

247. Von der Wärmeentwicklung durch Electricität wird in der Electricitätslehre beſonders gehandelt und über die vom Lebensproceß bedingte kann hier nur wenig geſagt werden. Der Lebensproceß erzeugt auf eine auf phyſikaliſchem Wege unerklärliche Weiſe fortwährend Wärme. Ein Theil dieſer Wärme kommt allerdings auf Rechnung der Luftzerſetzung beim Athmen, der Aſſimilation der Nahrungsmittel und der ſteten Verwandlung des venöſen Blutes in das arteriöſe (deren Capacitäten ſich nach Davy wie 903 : 913 verhalten); allein dieſes reicht bei weitem nicht hin, das Phänomen der vitalen Wärmeentwicklung ganz zu erklären. Der Menſch hat eine von der Temperatur ſeines Mittels faſt ganz unabhängige Wärme; was vom Wärmeüberfluſſe nicht in ſeine Um-

gebung abfließen kann, wird zur Schweißbildung verwendet, und den zu ſtarken Abfluß bei großer Kälte erſetzt ſein Organismus bis zu einer gewiſſen Grenze durch geſteigerte Thätigkeit. Etwas Ähnliches findet bei vielen Thieren Statt, ja ſelbſt in der Pflanzenwelt ſcheint mit der Lebensthätigkeit Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten.

Fünftes Kapitel.

Wärme in Verbindung mit Licht.

248. Man kann jeden Körper durch bloßes Erwärmen zum Leuchten bringen; ſelbſt jene Körper, die bei einer gewiſſen Temperatur eine chemiſche Zerſetzung erleiden, entziehen ſich dieſem Geſetze nicht, wenn man ſie in verſchloſſenen, hinreichend feſten Gefäßen behandelt, die das Entweichen der ausdehnſamen Stoffe, welche bei der Zerſetzung entſtehen, verhindern. Wiewohl es wahrſcheinlich iſt, daß alle Körper ſchon bei einer geringen Temperaturerhöhung leuchten und daß dieſes Licht nur zu ſchwach ſey, um durch unſere, an das ſtarke Sonnenlicht gewöhnte Augen wahrgenommen werden zu können, wie vorzüglich die von Dizé angeſtellten Verſuche (Gilb. Ann. 4. 410) zu beweiſen ſcheinen; ſo gibt es doch nur eine beſtimmte Temperatur, bei welcher ſie in einem für uns wahrnehmbaren Grade Licht ausſenden. Dieſer läßt ſich aber nicht genau angeben, weil der Übergang von der dunklen Wärme in Licht auf eine unmerkliche Weiſe geſchieht. Beobachtet man z. B. eine Eiſenſtange, die mit einem Ende in eine Schmiedeſſe gehalten und darin zum Glühen (Leuchten) gebracht wird; ſo ſieht man bei hinreichender Hitze das Ende derſelben weiß glühen, nicht weit davon herrſcht nur Rothglühhitze und weiter davon erſcheint die Stange dunkel, wenn man ſie in der Tageshelle anſieht, aber im Dunkeln leuchtet oft ſelbſt letztere Stelle noch merklich.

249. Licht- und Wärmeentwicklungen finden vorzüglich bei energiſch vor ſich gehenden chemiſchen Proceſſen Statt. Wiewohl es Fälle gibt, wo derlei Entwicklungen eintreten, wenn ein Stoff in ſeine chemiſchen Beſtandtheile zerfällt (wie z. B. beim Chlorſtickſtoff, der unter Wärme- und Lichterſcheinungen in Chlor und Stickſtoff zerfällt), ſo treten dieſe doch ohne Vergleich öfter bei

chemiſchen Verbindungen ein. Ein ſolcher Verbindungsproceß von Stoffen, der mit Licht- und Wärmeentwicklung verbunden iſt, heißt das Verbrennen. Es gibt zwar auch ein Verbrennen, wo nur Wärme ohne Licht erſcheint, ſo wie ein anderes, wo nur Licht ohne Wärme auftritt, von dieſen iſt aber hier nicht die Rede. Zum Verbrennen gehören demnach wenigſtens zwei Körper, wovon einer, nach der gewöhnlichen Vorſtellungsweiſe, das Verbrennen erleidet und deshalb das Brennmateriale, der Brennſtoff oder der brennbare Körper heißt, während der andere das Verbrennen von jenem bewirkt und feuernährender oder Zünd-Körper genannt wird. Derſelbe Körper ſpielt beim Verbrennen nicht immer dieſelbe Rolle und er kann bald als Brennſtoff, bald als Zündſtoff auftreten. So iſt z. B. Schwefel gegen Kupfer Zündſtoff, gegen Sauerſtoff Brennſtoff, Chlor iſt gegen Phosphor und Wismuth Zündkörper, aber nicht gegen Stickſtoff. Der vorzüglichſte Zündkörper iſt der Sauerſtoff, daher man auch gewöhnlich unter Verbrennen die mit Wärme- und Lichtentwicklung verbundene Vereinigung des Sauerſtoffes mit irgend einem Körper verſteht und im gemeinen Leben nur jene Körper brennbar nennt, welche ſich gegen den Sauerſtoff als Brennſtoffe verhalten.

250. Sollen zwei Stoffe den Verbrennungsproceß hervorbringen, ſo müſſen ſie nicht blos eine große Verwandtſchaft zu einander haben, ſondern ſich auch unter günſtigen Umſtänden befinden. Das Phänomen des Verbrennens findet immer nur, wie jede chemiſche Verbindung, bei einem beſtimmten Wärmegrade Statt. Bei manchem Körper reicht dazu ſchon die gewöhnliche Lufttemperatur, oft ſelbſt die Wintertemperatur hin, wie z. B. beim Waſſerſtoffperphosphorid, und dieſe entzünden ſich daher von ſelbſt, ſobald ſie in die Luft oder in Sauerſtoffgas kommen. Man nennt ſie Pyrophore. Die meiſten brauchen aber dazu eine höhere Temperatur, als in der Atmoſphäre vorkommt, und man muß ſie daher erhitzen. Die Größe der erforderlichen Erhitzung iſt für verſchiedene Körper und ſelbſt für dieſelben Körper unter verſchiedenen Verhältniſſen verſchieden; in der Regel brauchen ausdehnſame Stoffe eine größere Erhitzung als feſte oder tropfbare, compacte Körper eine größere als poröſe und fein zertheilte; bei den meiſten Körpern wird das Verbrennen durch Vermehrung der Berührungspuncte mit dem Zündſtoffe befördert, bei einigen aber tritt das Gegentheil ein. Manche Stoffe laſſen ſich durch Tränken in Salzauf-

löſungen dahin bringen, daß ſie gar nicht brennen. Von dieſer Art iſt Schafwolle in Salzſoole getränkt. Da dieſe zugleich ein ſchlechter Wärmeleiter iſt, ſo eignet ſie ſich beſonders zu feuerabhaltenden Gewändern, darum ſie auch von Aldini zu dieſem Behufe empfohlen worden iſt.

Phosphor brennt ſchon bei 37½°, Schwefel bei 294° *C.*, aber Waſſerſtoffgas fordert dazu Rothglühhitze, öhlbildendes Gas eine noch höhere Temperatur. Die poröſe Kohle, wie ſie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entſteht, entzündet ſich ſchon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kieſel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen ſowohl im Sauerſtoffgaſe als in atmoſphäriſcher Luft unentzündlich iſt. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmoſphäriſchen Luft entzündet, vermag dieſes nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewiſſen Grad verdünnt iſt, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspuncte zwiſchen dem Brennſtoffe und dem Sauerſtoffe fehlt. Nach Davy läßt ſich ein Gemenge aus 2 Rtheilen Waſſerſtoffgas und 1 Rth. Sauerſtoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus 2 Rtheilen Hydrogengas und 5 Rtheilen atmoſphäriſcher Luft beſtehendes, bei einer ſechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den electriſchen Funken anzünden. In der atmoſphäriſchen Luft läßt ſich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerſtoffgaſe; (Davy in Gilb. Ann. 56. 150.) Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit Schwefelpulver beſtreut entzündet ſich hingegen leichter in verdünnter Luft als in der von natürlicher Dichte, und ſelbſt ein Gemenge von Phosphorwaſſerſtoffgas im Minimum und atmoſphäriſcher Luft entzündet ſich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einem geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck iſt.

251. Die zur Einleitung des Verbrennungsproceſſes nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden und es iſt für das Verbrennen ſelbſt einerlei, aus welcher Wärmequelle man ſchöpft. Man zündet oft Schwamm durch concentrirtes Sonnenlicht, unſere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem ſchon brennenden Körper an, bei den ſogenannten chemiſchen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorigſaurem Kali überzogen ſind und in Schwefelſäure getaucht werden), iſt es ein chemiſcher Proceß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei anderen Zündmaſchinen wirkt ein electriſcher Funke, beim Feuerſchlagen der Stoß, die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander, bis ſie brennen. Manche poröſe Körper verdichten einige

Gaſe ſo ſtark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieſes iſt z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen der Fall, die Knallgas bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können. (Pogg. An. 17. 101.) Etwas Ähnliches ſcheint bei gepulverten Kohlen die Selbſtentzündung zu bewirken. (Zeitſch. 9. 228.) Wird Eiſenoxyd durch Waſſerſtoffgas zu Eiſen reducirt, ſo erſcheint letzteres als gepulverte Maſſe, die ſich in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft ſchnell entzündet.

252. Der auf ſolche Weiſe einmal angefachte Verbrennungsproceß dauert unter günſtigen Umſtänden fort und es entwickelt ſich ohne äußere Beihülfe Licht und Wärme, ja letztere iſt es eigentlich, wodurch das Verbrennen unterhalten wird. Es gibt aber doch Fälle, wo ein Körper zwar nicht die zu ſeinem mit Lichtentwicklung verbundenen Verbrennen nöthige Wärme entwickelt, aber einen anderen dadurch glühend erhalten kann. Von der Art iſt Alkohol. Wird über dem Dochte eines Alkohollämpchens ein ſpiralförmig gewundener dünner Platindraht, oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet und, wenn der Platindraht glüht, wieder ausgelöſcht; ſo kann durch das fortgeſetzte langſame Verbrennen des Alkohols der Draht glühend erhalten werden. Ein ſolches Lämpchen heißt Glühlämpchen. Während dieſer Licht- und Wärmeentwicklung erleidet der verbrennende Körper eine gänzliche Änderung ſeiner Natur. Oft verbindet er ſich blos mit dem Zündſtoffe und es bleibt nach beendigtem Proceſſe das Product dieſer Verbindung zurück oder es wird unter einem verflüchtiget. So wird Eiſen beim Verbrennen in Eiſenoxyd, Kohlenſtoff in Kohlenſäuregas verwandelt. Viele Körper, wie z. B. alle organiſchen, erleiden aber dabei eine Zerſetzung; ein Theil verbrennt, der andere bleibt als unverbrennbare Maſſe zurück. Dieſe bilden die Aſche, die Schlacken ꝛc. Aus der Verflüchtigung der Verbrennungsproducte erklärt ſich der eigenthümliche Geruch, den einige Körper, wie z. B. Federn, Klauen ꝛc. beim Verbrennen verbreiten. Übrigens ſind dieſe Producte ſelbſt bei demſelben Körper nach dem beim Verbrennen herrſchenden Hitzegrade verſchieden.

253. Zur Fortdauer des Verbrennungsproceſſes iſt nothwendig, daß der Brennſtoff mit Sauerſtoff in Berührung ſtehe, daß dieſer fortwährend mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit zuſtröme, den Brennſtoff an hinreichend vielen Puncten berühre und daß ihm

nicht zu viel Wärme durch Ausſtrahlen oder durch die Umgebung entzogen werde. Die beim Verbrennen entwickelte Wärme erregt ſchon für ſich einen Luftſtrom, wodurch atmoſphäriſche Luft zugeführt wird, indem die erhitzte Luft in die Höhe ſteigt und der dadurch entſtehende leere Raum durch andere Luft erfüllt werden muß; allein in vielen Fällen genügt dieſer Luftſtrom nicht, um dem Verbrennungsproceſſe die nöthige Lebhaftigkeit zu verleihen und man muß einen künſtlichen Luftſtrom herbeiſchaffen. Dieſes geſchieht durch Blasbälge, Fächer, oft auch ſchon dadurch, daß man den brennenden Körper mit einer Röhre umgibt und ſo die aufſteigende Luft zwingt, eine größere Geſchwindigkeit anzunehmen. Doch muß dieſer Luftſtrom der Größe des brennenden Körpers angemeſſen ſeyn, damit nicht etwa die Lufttheile beim brennenden Körper ſchneller vorbeigeführt werden, als ſie die nöthige Wärme erlangt haben. Darum kann man einen brennenden Körper ausblaſen, darum verkleinert ſich in einer Lampe die Flamme, wenn man ſie mit einem zu hohen oder zu engen Zugrohre umgibt und dadurch die Geſchwindigkeit des Luftſtroms zu ſehr erhöht; darum brennt comprimirtes Gas, das aus dem Gasbehälter herausſtrömt, nur bei einer beſtimmten Ausflußöffnung. Wenn man den Zutritt von Sauerſtoffgas hindert, ſo hört der Verbrennungsproceß auf. Dieſes geſchieht oft durch luftdichte Einhüllung des brennenden Körpers, mit Waſſer, Aſche ꝛc., durch eine dem Verbrennen nicht günſtige Luft, z. B. durch ſchwefligſaures Gas ꝛc. Hierauf beruht der Nutzen aller gegen Feuer ſichernden Anſtriche, aller Feuerlöſchmittel ꝛc.

Man braucht nach Clément zum vollkommenen Verbrennen von

1 Pf. trockenen Holzes	4.58 Pf. atm. Luft	od. 1.0579	Sauerſtoffgas,
1 „ Holzkohle . .	11.00 „	—— 2.541	—
1 „ gewöhnliche Kohle	13.94 „	—— 3.220	—

Beim gewöhnlichen Verbrennen wird nicht aller Sauerſtoff der Luft conſumirt, ſondern er entweicht zum Theil mit dem Stickgaſe und der kohlenſauren Luft, daher braucht man zum vollkommenen Verbrennen faſt $^1/_3$ mehr Luft als oben angegeben wurde. — Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspuncten zwiſchen Brenn- und Zündſtoff erklären es, warum jeder Körper verliſcht, wenn er in atmoſphäriſche bis zu einem gewiſſen Grade verdünnte Luft kommt. So verliſcht Waſſerſtoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Waſſerſtoffperphosphorid blitzt noch in möglichſt verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeſchloſſenen Portion atmoſphäriſcher Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Waſſerſtoffgas, Schwefel und

Phosphor anzündet; ſo verliſcht zuerſt die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor. Wenn einem brennenden Körper ſo viel Wärme entriſſen wird, daß der Reſt nicht hinreicht, ſein Brennen zu unterhalten, ſo verliſcht er. Darum hört eine glühende Kohle auf zu brennen, wenn man ſie auf ein großes, kaltes Stück Eiſen legt, ja ein Haufen brennender Kohlen verliſcht, wenn man die einzelnen Kohlen aus einander breitet; deshalb brennen Flammen nicht durch ein Drahtſieb von beſtimmter Feinheit des Geflechtes. So z. B. brennt eine Weingeiſtflamme nicht mehr durch ein ſolches Sieb, wenn 100 Öffnungen auf den Q. Zoll desſelben kommen; wohl aber Waſſerſtoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, ſiebartig geflochtenem Metalldrahte), mit der man ſich in Örter wagen darf, wo Knallluft enthalten iſt, ohne befürchten zu dürfen, daß ſich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergleiche Libri in Zeitſch. 3. 204.) Der zu geringen Lichtſtärke, welche eine ſolche Lampe für ſich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlſpiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am beſten braucht. Kommt man mit einer ſolchen Lampe in einen Raum, der brennbare Luft enthält, ſo erſcheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von deſto größerer Länge, je mehr ſolches Gas vorhanden iſt, die Gegenwart des Kohlenſäuregaſes gibt ſich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Überkleid), das man über ein ſalzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geſchützt zu werden. Es iſt merkwürdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsproceß ſchwächt, wie ſich dieſes aus Mac-Keever's Verſuchen ergab, der Wachs- und Unſchlittkerzen im Finſtern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beſchienenen Orte brennen ließ und bemerkte, daß davon im erſten Orte am meiſten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigſten verzehrt wurde.

254. Feſte und tropfbare Körper, die beim Verbrennen keine flüchtigen Producte liefern, glühen dabei blos; ausdehnſame hingegen brennen mit einer Flamme. Dieſe iſt nämlich das verbrennende leuchtende Gas. Feſte oder tropfbare Körper, die beim Verbrennen ausdehnſame Stoffe liefern, können zugleich mit Gluth und mit Flamme brennen. Jene flüchtigen Theile, welche nicht die zum Brennen nöthige Hitze haben, bilden den Rauch. Dieſer beſteht hauptſächlich aus fein zertheilter Kohle und Waſſerdünſten, oft auch (wie z. B. beim Verbrennen des Silbers oder Eiſens in Sauerſtoffgas) aus fein zertheiltem Oxyde. Kommt er in einen kältern Raum, ſo verdichtet er ſich und ſetzt ſeine minder flüchtigen Theile als Ruß

ab. Es iſt klar, daß das Erſcheinen des Rauches immer ein Zeichen eines unvollkommenen Verbrennens ſey. Bei blos glühenden Körpern geht das Verbrennen nur an der Oberfläche vor ſich; jene, die mit einer Flamme brennen, können ihrer ganzen Maſſe nach in Brand geſetzt werden, wenn der Sauerſtoff in ihr Inneres eindringen kann.

255. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zugeſpitzte Geſtalt, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter iſt als die atmoſphär. Luft und daher in derſelben aufſteigt; nur durch einen künſtlichen Luftſtrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben. Ihre Größe richtet ſich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gaſes und nach dem Zufluſſe von Sauerſtoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erſt zum Leuchten, wenn es die oberſte, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine ſolche Flamme durch ein Drahtnetz abſchneidet und von Oben in ſie hineinſieht; denn man findet ſie in der Mitte dunkel und gleichſam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hineinhalten, ohne daß es brennt; ſo wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläſt, beginnt das Gas im Innern der Flamme zu leuchten und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'ſchen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme iſt nur durchſcheinend, keineswegs vollkommen durchſichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht ſo viel Licht nach einem Orte hinſenden, wenn ſie hinter einander ſtehen, als wenn ſie ſich neben einander befinden.

256. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündſtoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimiſchung fremdartiger Beſtandtheile ab. Phosphor, Zink, Arſenik geben ein weißes, Selen ein azurblaues Licht. Schwefel brennt in atmoſphäriſcher Luft mit bläulicher, in Sauerſtoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgaſe mit gelblich rother Flamme. Weingeiſt, in welchem Boraxſäure oder ſalpeterſaures Kupfer aufgelöst wurde, brennt grün, mit ſalzſaurem Baryt gelb, mit ſalzſaurem Strontian roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe; unten iſt faſt jede blau. Verbrennt man Wein-

geiſt von 0.835 ſpec. Gew. in einer Lampe ohne Docht und geſtattet der Flamme eine Länge von $\frac{1}{2}$ Z.; ſo erſcheint ſie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1—1$\frac{1}{2}$ Z., ſo erſcheint ſie beinahe weiß. Wird dieſer Weingeiſt ſtark gewäſſert, und mittelſt eines Dochtes angezündet, ſo gibt er faſt lauter gelbes Licht, dasſelbe iſt auch der Fall, wenn der Docht einer gewöhnlichen Weingeiſtlampe mit einer Natrumſalzlöſung (z. B. Kochſalz) getränkt wird, während Kaliumſalze eine bläulichweiße Farbe der Flamme hervorbringen. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit ſchönem weißen Lichte, wenn ſie eine Länge von 1—2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung dieſe Länge auf 2—3 L., ſo ſendet ſie faſt lauter blaues Licht aus. Brennt Öhl ohne Docht mit großer Flamme, ſo gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Öhlzufluß, ſo wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgeſetzter Verminderung des Öhlzufluſſes wird ſie endlich ganz blau. Nach Brewſter gibt jeder unvollkommen verbrennende Körper eine mehr oder weniger gelbe Flamme.

257. Das Leuchtvermögen eines brennenden Körpers hängt beſonders von ſeiner Dichte und von ſeiner Natur ab. In der Regel leuchten die gewöhnlich viel dichteren glühenden Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten, und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen feſten Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gaſe ſehr ſtark glüht, ungemein erhöht. Eine Waſſerſtoffgasflamme leuchtet nur ſehr wenig, die vom verdichteten Knallgaſe hingegen ſehr ſtark, die Flamme des öhlbildenden Gaſes, bei der fein zertheilte Kohle ausgeſchieden wird, viel ſtärker, doch wird die Lichtſtärke beider noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieſer ſchnell weißglühend wird. Die Flamme des gewäſſerten Weingeiſtes gibt ein ſehr ſchwaches Licht, tränket man aber den baumwollenen Docht einer Weingeiſtlampe mit ſalzſaurer, ſchwefelſaurer oder kohlenſaurer Soda, ſo erhält man eine ſtarke leuchtende Weingeiſtflamme. Ein Tropfen Öhl auf den Docht gegeben, oder 0.15 Terpentinöhl dem Weingeiſte beigemiſcht, ertheilt der Flamme die Intenſität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit ſtarkem, aber dem Auge noch wohl erträglichem Lichte, im Sauerſtoffgaſe hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwickelung ſcheinen beim Kalke zuſammenzuwirken, den man in eine mit Sauer-

ſtoffgas angefachte Weingeiſtflamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intenſiven Lichte. (Talbot und Blackadder in Zeitſch. 1.403. Drummond ebend. 1. 306, Pleiſchl ebend. 1. 390. Döbereiner in Schweigg. J. 62. 87.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen ſchwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet ſich ein kegelförmiger, dunkler Raum und zwiſchen dieſem und jenem Saume der leuchtendſte Theil des Ganzen. Anders verhält es ſich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblaſen wird. Dieſe hat gleich im Innern einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher ſich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — Rumford hat über die Lichtſtärke brennender Körper viele intereſſante Verſuche angeſtellt. Nach dieſen braucht man, um durch eine beſtimmte Zeit eine gleiche Lichtſtärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut geputzten Wachskerze 100, von einer gut geputzten Unſchlittkerze 101, von einer ungeputzten Unſchlittkerze 229; von Baumöhl in einer Argand'ſchen Lampe 110, von demſelben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Ripsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derſelben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimenſionen des Dochtes an; iſt dieſer zu kurz, ſo entſteht ein Abfließen der geſchmolzenen Maſſe und durch zu viel Schmelzen derſelben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconſumtion, iſt er zu lang, ſo erzeugt er Schatten, kühlt zu ſchnell ab, ſcheidet unverbrannte Kohle aus und vermindert ſo die Lichtſtärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, ſo müſſen dieſelben eine ſolche Entfernung von einander haben, daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geſchieden erſcheinen. Chriſtiſon und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe ſehr wichtiger Verſuche über das Gaslicht angeſtellt. Nach dieſen Verſuchen wird die Lichtſtärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend geſteigert und zwar in einem größeren Verhältniſſe als die Gasconſumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconſumtion von Flammen, deren Länge 2, 3, 4, 5 Zoll beträgt, die Lichtſtärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Öhl, für dieſelben Flammenlängen, die Lichtintenſitäten 100, 282, 560, 582, 604, ſo daß alſo durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtſtärke auf das 6fache geſteigert werden kann. Auch als man dem Gaſe mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von beſtimmter Größe und Anzahl verſchaffte, war die Lichtſtärke größer, als wenn man eine einzige Öffnung angebracht hätte, welche in derſelben Zeit die nämliche Gasmenge ausſtrömen ließ. Man konnte ſo ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtſtärke 1½ mal vergrößern.

258. Von der Lichtſtärke eines leuchtenden Körpers iſt die entwickelte Wärmemenge ganz verſchieden. Dieſe iſt deſto größer, je vollkommener und ſchneller das Verbrennen vor ſich geht und je weniger Körper an der Erhitzung Theil nehmen, die nichts zum Verbrennen beitragen. Flammen geben eine größere Hitze, als blos glühende Körper, jedoch ſind auch dieſe nicht an allen Stellen gleich heiß. Ein Platindraht, den man quer an eine Kerzenflamme hält, wird da, wo er ihren äußerſten Saum berührt, glühend, in dem hellleuchtenden Theile derſelben berußt, und im innern dunkeln Kegel weder glühend noch überhaupt ſtark erhitzt. Die größte Hitze erzeugt verdichtetes, aus einer engen Röhre herausſtrömendes, brennendes Knallgas oder, nach Pleiſchl, ein Gemenge aus Kohlenwaſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas, wie dieſes in Newmann's Knallgebläſe angewendet wird. (Zeitſch. 1; 64. Gilb. Ann. 55. 247; 62. 339. Schweigg. J. 22. 385.)

259. Die beim Verbrennen frei gewordene Wärme kann man durch den Eisapparat (210) ſo wie durch Rumford's Calorimeter beſtimmen. Dieſes beſteht aus einem kupfernen Gefäße *A* (Fig. 266), in dem ſich eine ſchlangenförmig gewundene, ebenfalls kupferne Röhre *B* befindet, welche durch deſſen Boden geht, und unterhalb desſelben einen Trichter *C* bildet. Das Verfahren beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes beſteht dem Weſen nach in Folgendem: Es wird die zu verbrennende Subſtanz unter die Mündung der Schlangenröhre gelegt, daſelbſt angezündet, vor und nach dem Verſuche gewogen und die Temperaturerhöhung bemerkt, welche dem Waſſer im Calorimeter dadurch zu Theil geworden iſt. M. Bull hat ſich zu demſelben Zwecke eines anderen Apparates bedient, der einem kleinen Zimmer (von 512 K. F. Inhalt) glich, das mit doppelten Wänden verſehen war und in welchem das Verbrennen in einem eigenen Ofen vor ſich ging.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, ſind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Friſches Holz enthält immer viel Waſſer, das der Wärmeentwicklung ſchadet; nach M. Bull belauft ſich der Waſſergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, ſelbſt Holz, das ſchon 8 — 12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben ſelbſt gleich ſtark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach desſelben Verſuchen ſind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volumen des Holzes folgende: Verkleinerte Rinde 100, Eiche 86,

Eſche 77, Buche 65, Ulme 58, Birke 48, Kaſtanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln beim Verbrennen gleich viel Wärme, die compacteren verbrennen langſamer als die mehr poröſen. Gewöhnliche Kohlen enthalten faſt immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchſchnitte 3mal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz. Steinkohlen liefern nach Bull im Durchſchnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies, nur $^1/_5$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Despretz gibt Hydrogen beim Verbrennen die größte, die Metalle die kleinſte Menge Wärme; und zwar $^3/_5$ von der, welche ein gleiches Quantum Kohle liefert. Schwefel liefert bei verſchiedener Dichte der Luft gleich viel Wärme, wahrſcheinlich gilt dasſelbe auch für andere Körper. Nach Verſuchen verſchiedener Gelehrten werden durch 1 Pf. von nachſtehenden Körpern ſo viele Pf. Waſſer von 0—100° erwärmt, als die beigeſetzten Zahlen ausweiſen: Waſſerſtoffgas 221.25; Kohlenwaſſerſtoffgas 63.75; Kohlenoxydgas 18.57; trockenes Holz 36.66; Holz mit 20 pCt. Waſſer 29.45; do. mit 25 pCt. Waſſer 26.00; Holzkohlen 70.50; Steinkohlen der beſten Qualität 70.50; Coaks von 10 pCt. Aſchengehalt 63,45; Torf gewöhnlicher 15.00; Baumöhl 90.44; gereinigtes Rüböhl 93.07; Schwefeläther (0.728 ſp. G.) 80.30; Alkohol (0.8176 ſp. G.) 61.95; Talg 71.86; weißes Wachs 94.79; Steinöhl (0.827 ſp. G.) 73.38; Phosphor 75.00; Terpentinöhl 45.00.

260. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande der Wiſſenſchaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieſer Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiſton an, von dem er vorausſetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoiſier nahm an, daß das Verbrennen durch einfache Wahlverwandtſchaft vor ſich gehe, indem nämlich der brennende Körper den Sauerſtoff der atmoſph. Luft aufnimmt und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas exiſtiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelt ſich aus dem Sauerſtoffe auch das Licht. Allein es läßt ſich durch Rechnung nachweiſen, daß die frei gewordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengaſe enthalten ſeyn kann und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuſchreiben iſt. Andere laſſen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerſtoff verbinde ſich mit dem brennbaren Körper, und der Wärmeſtoff des erſteren mit dem Lichtſtoffe

des letzteren. In der neueſten Zeit hat die ſogenannte electro-chemiſche Theorie die meiſten Anhänger, von ihr kann aber erſt ſpäter die Rede ſeyn.

Sechſtes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene.

261. Man erklärt ſich faſt allgemein die Erſcheinungen der Wärme durch Annahme des Wärmeſtoffes. Die Schlußweiſe, durch welche man die Erklärung leiſtet, iſt ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmeſtoff gebe, ſo muß er auch in Körpern von der niedrigſten Temperatur noch vorhanden ſeyn und in jedem Körper einen gewiſſen Grad von Expanſivkraft beſitzen, der von ſeiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwiſchen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer dieſe Anziehung iſt, deſto mehr wird ſeine Ausdehnſamkeit geſchwächt, deſto kleiner iſt alſo bei derſelben Wärmemenge die Temperatur des Körpers und deſto größer iſt deſſen Capacität. Nähert ſich einem warmen Körper ein anderer, in welchem der Wärmeſtoff eine geringere Spannung hat, ſo wird er von jenem in dieſen überſtrömen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnſamkeit beſitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Übergang des Wärmeſtoffes von einem Körper in den anderen geſchieht, muß nothwendig von dem Unterſchiede der Spannung des Wärmeſtoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmeſtoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volumens, welche, bei übrigens gleichen Umſtänden, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt iſt, wo ſie ein reines Reſultat des Wärmeſtoffes iſt. In feſten Körpern wird der Wärmeſtoff durch ſeine Expanſivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegenwirken; durch Anhäufung des Wärmeſtoffes wird aber dieſe Kraft immer mehr geſchwächt, bis ſie ſo weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterſchiede der Anziehung einzelner Stellen verſchwinden. Sobald dieſes erreicht iſt, fängt der Körper an zu ſchmelzen. Iſt er ganz tropfbar flüſſig geworden, ſo

braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmeſtoffes, um den expanſiblen Zuſtand zu erzeugen, weil dazu ein gewiſſes Übergewicht der abſtoßenden Kraft des Wärmeſtoffes über die Anziehungskraft der kleinſten Theile der Körper erfordert wird; es geht, ſelbſt wenn dieſe zwei Kräfte mit einander ins Gleichgewicht getreten ſind, ein Körper nicht bei dem geringſten Wärmezufluſſe in den expanſiblen Zuſtand über, weil äußere Kräfte die Spannkraft des Wärmeſtoffes einige Zeit überwältigen. Solche Kräfte ſind: der Druck der Atmoſphäre, oder wenn ſich die Flüſſigkeit im luftleeren Raume befindet, der Druck der entſtandenen Dünſte, und im Inneren noch dazu das Gewicht der oberen Schichten. Indeß findet doch dabei der Übergang in den ausdehnſamen Zuſtand an der Oberfläche ſtets Statt, wenn der abſtoßenden Kraft kein Hinderniß entgegenſteht.

262. Man ſieht hieraus, daß die Erklärung der meiſten Wärmeerſcheinungen aus dieſer Hypotheſe, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an ſich hat. Allein ſobald man zur Erklärung einer Reihe von Naturerſcheinungen einen beſonderen Stoff annimmt, welchen man mit allen Eigenſchaften nach Belieben ausrüſten kann, die man zur Befeſtigung ſeiner Hypotheſe für nöthig hält; ſo darf man ſich nicht viel zu Gute thun, wenn ſich viele Erſcheinungen leicht daraus ergeben, nur wenn ſich alles ungezwungen ableiten läßt, kann man die Hypotheſe für zuläſſig halten. Dieſes iſt aber leider mit dem Wärmeſtoffe nicht der Fall; denn man erklärt daraus ſchwer oder gar nicht, 1) wie die Wärme unter allen Temperaturen ſich ſtrahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausſtröme, die eine geringere Temperatur haben als die Umgebung. Man kann ſich überhaupt von dem Zuſtande einer ausdehnſamen Flüſſigkeit, deren Fortpflanzung ſtrahlend geſchehen ſoll, wie dieſes mit dem Wärmeſtoffe ſeyn müßte, keine klare Vorſtellung machen und es ſcheint, als läge in dieſer Annahme ſelbſt ein Widerſpruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortſchreiten der bewegten Maſſe verwechſelt; 2) wie ſich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmeſtoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen feſtgehalten wird, durch den leeren Raum fortſtrahlen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen, z. B. mit Äther erfüllt ſey, weil die Vertheidiger des Wärmeſtoffes meiſtens den Äther läugnen. Geben ſie dieſen zu, ſo bedarf es keines anderen Stoffes

mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung ſenden könne, welches beſonders nach Rumford's Verſuchen beim Reiben und auch bei Metallen geſchieht, welche durch Electricität glühend gemacht werden. Dieſe Schwierigkeit kann man nicht etwa dadurch heben, daß man behauptet, der Wärmeſtoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn dieſe Annahme ſtreitet gegen ein anerkanntes Naturgeſetz, vermöge welchem nur der kältere Körper vom wärmeren Wärme gewinnt und nicht umgekehrt. 4) Wird einmal zur Erklärung der Wärmephänomene ein eigener Stoff angenommen; ſo kann eine Wärmeerregung nur in einem Freimachen dieſes Stoffes oder in der Verminderung der Capacität beſtehen; allein die Wärmeerregung beim Reiben läßt ſich daraus nicht erklären und man iſt gezwungen anzunehmen, es werde da wirklich Wärme erzeugt, nicht blos ſchon vorhandene in Freiheit geſetzt. (Vergleiche 244.) 5) Endlich iſt das Verhältniß zwiſchen Licht und Wärme nicht wohl erklärbar, beſonders wenn man ſich bei erſterem für das Vibrationsſyſtem ausſpricht, das doch von den optiſchen Erſcheinungen am meiſten begünſtiget wird.

263. Wenn man die Wärmeerſcheinungen mit denen des Lichtes und des Schalles vergleicht, ſo findet man eine ſehr große Übereinſtimmung zwiſchen denſelben. Licht und Wärme exiſtiren häufig in demſelben Körper gleichzeitig oder gehen in einander über, und es iſt höchſt wahrſcheinlich, daß dasjenige, was für uns nur Wärme iſt, für andere Weſen ſchon als Licht wirke, ſo wie die Schwingungen einer Saite von Einem noch geſehen und nicht gehört, von anderen aber gehört und nicht geſehen werden können oder beides zugleich. Wenigſtens iſt uns hieraus das Sehen der Raubthiere bei völlig dunkler Nacht und beſonders das Sehen der Fiſche erklärbar, die am Grunde des Meilen tiefen Meeres wohnen. Wärme und Licht erleiden dieſelben Veränderungen und befolgen dieſelben Geſetze. Beide pflanzen ſich im leeren Raume und in der Luft von gleicher Dichte geradlinig, mit ungeheurer Geſchwindigkeit fort, beide werden gebrochen, reflectirt, abſorbirt ꝛc. und beide im Allgemeinen nach denſelben Geſetzen. Zwiſchen Schall und Wärme gibt es eben ſo viele Analogien. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen ſich ſtrahlend fort; beide erleiden Reflexionen und beide werden beim Übergange von einem Mittel ins an-

dere geſchwächt. Gleichwie Schallſtrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben ſo vermögen Wärmeſtrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt ſich auch der Klang durch ihn fort und während ein Körper ſich ſelbſt erwärmt, gibt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwiderſprechlich bewieſen iſt, daß das Weſen des Schalles in Schwingungen beſtehe, ja eine ſtrahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüſſigkeit zeigt, deren Theile ſtrahlend (in gerader Linie) fortſchreiten; ſo fordern die Regeln der Analogie anzunehmen, das Weſen der Wärme beſtehe ſo wie das des Schalles und des Lichtes in einer vibrirenden Bewegung. Alles dieſes bezieht ſich aber nur auf die Dynamik der Wärme und in Bezug auf dieſe dürften der Vibrationstheorie wenige Schwierigkeiten aufſtoßen, allein in der Thermo-Statik iſt nach dieſer Anſicht noch mancherlei aufzuklären übrig, z. B. die Erklärung der ausdehnenden Kraft der Wärme, des Gebunden- und Freiwerdens derſelben, die der Wärmecapacitäten ꝛc. Erſt, wenn ſich die Vibrationshypotheſe auch über dieſe Puncte genügend vernehmen läßt, kann man ihr den förmlichen Zutritt ins Reich der Phyſik geſtatten und ihr eine Stimme einräumen.

Dritter Abſchnitt.

Magnetismus.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine, magnetiſche Erſcheinungen.

264. Unter den Eiſenerzen befinden ſich einige, welche die merkwürdige Eigenſchaft haben, Eiſen anzuziehen. Man heißt ſie Magnete und die Kraft, welche ſie auf das Eiſen ausüben, magnetiſche Kraft. Nicht jeder Magnet wirkt mit gleicher Kraft auf Eiſen, einige ſind nur im Stande, ganz kleine Eiſenmaſſen an ſich zu ziehen und ſie zu tragen, andere hingegen tragen Stücke von vielen Pfunden. Man kann weder aus ihrer Größe noch aus ihrer Geſtalt auf die Stärke ihrer Kraft ſchließen. Oft ſind kleinere Stücke eines Magnetes kräftiger als große, oft iſt das Umgekehrte der Fall. Starke Magnete findet man ſtets nur am Ausgange eines magnetiſchen Eiſenerzlagers oder, wie die Bergleute ſagen, zu Tage. Nach Haüy's Verſuchen ſind alle Eiſenerze natürliche Magnete, aber ihre Kraft iſt oft ſehr ſchwach. Einige Subſtanzen können durch eine beſondere Behandlungsweiſe magnetiſche Kraft erhalten und daher künſtliche Magnete werden.

265. Die magnetiſche Kraft äußert ſich ſchon in einer gewiſſen Entfernung vom Magnete, und es können kleine Eiſentheile ſchon von bedeutenden Diſtanzen angezogen werden. Es iſt kein Unterſchied in der Stärke dieſer Anziehung bemerklich, ob ſich zwiſchen dem Magnete und dem afficirten Eiſenſtücke Luft oder irgend ein anderer Körper befindet, ja ſelbſt durch den Körper des Menſchen wirkt dieſe Kraft, und nur ſolche Maſſen, die ſelbſt magnetiſche Kraft beſitzen, hindern ihre Wirkſamkeit.

266. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieſelbe Kraft. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man ihn mit Eiſenfeilſpänen in Berührung bringt und die Anhäufung derſelben an verſchiedenen Stellen beobachtet. Da ſieht man deutlich, daß die

magnetiſche Kraft in einem Querſchnitte, der von beiden Enden des Magnetes nahe gleichweit abſteht, am kleinſten (oder eigentlich gleich Null) iſt und von da aus gegen die Enden zu ſchnell wächſt. Fig. 267 ſtellt einen Magnet mit den angehängten Spänen vor. Man kann ſich füglich den Magnet aus zwei Hälften *acb* und *adb* beſtehend denken, die in einer indifferenten Ebene *ab* an einander grenzen und Pole genannt werden.

267. Wenn man einen Magnet mit einem Hütchen verſieht und ihn daſelbſt auf eine verticale Spitze ſtellt, damit er ſich ungehindert in einer horizontalen Ebene bewegen könne; ſo kann man das Verhalten der Pole zweier Magnete zu einander unterſuchen, indem man einen Pol des einen Magnets denen des anderen nähert. Die Erfahrung lehrt, daß jeder Pol des einen Magnetes einen Pol des anderen anzieht, den anderen aber abſtößt und daß, wenn ein Pol eines Magnetes auf einen Pol eines zweiten anziehend wirkt, auch der andere Pol des erſteren den zweiten Pol des letzteren anzieht. Die Pole, welche ſich anziehen, werden freundſchaftliche, diejenigen, welche ſich abſtoßen, feindliche Pole genannt, ſo daß ſich das Verhalten zweier Magnete zu einander auf folgende Weiſe ausdrücken läßt: Von den Polen zweier Magnete ſind zwei freundſchaftliche und die zwei anderen feindliche Pole, und die zwei Pole desſelben Magnetes ſind ſtets von entgegengeſetzter Natur.

Vermöge dieſes Geſetzes richten ſich zwei bewegliche Magnete, wenn ſie über einander frei hängen, immer ſo, daß ihre ungleichartigen Pole nach Einer Seite zu fallen. Dieſes Geſetz iſt zum Behufe vieler magnetiſcher Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein ſicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetiſche Kraft beſitze oder nicht. Man darf ihn nämlich nur einem Magnete, der ſeine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern und ſehen, ob bei irgend einem Puncte eine Zurückſtoßung Statt findet. Auf die Anziehung kann man ſich bei dieſer Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlaſſen.

268. Dieſe Phänomene ſind von denen des Lichtes und der Wärme ſo ſehr verſchieden, daß man ſie nicht aus derſelben Grundurſache herzuleiten vermag. Man nimmt faſt allgemein zu ihrer Erklärung eine ungemein feine, unwägbare (ätheriſche) Flüſſigkeit an, welche aus zwei von einander verſchiedenen Theilen oder aus zwei Flüſſigkeiten beſteht. So lange beide Theile dieſes Fluidums in

einem Körper ſo verbunden ſind, daß keiner vorherrſcht, ſo befindet ſich der Körper im natürlichen Zuſtande; ſo wie aber der eine oder der andere Theil vorherrſcht, treten die magnetiſchen Phänomene hervor. Es iſt klar, daß, wenn in einem Theile eines Körpers die eine Flüſſigkeit vorherrſchend vorhanden iſt, in dem andern die zweite vorherrſchend ſeyn muß, und man begreift daraus, warum ein Körper ſtets aus zwei magnetiſchen Hälften von entgegengeſetzter magnetiſcher Natur beſteht. Die gleichartigen magnetiſchen Flüſſigkeiten erzeugen gleichartige Pole und ſtoßen ſich demnach gegenſeitig ab, die ungleichartigen begründen ungleichartige Pole und ziehen ſich gegenſeitig an. Das magnetiſche Fluidum geht nicht von einem Körper in einen anderen über, denn ein Magnet verliert nichts von ſeiner Kraft, wenn man ihn mit irgend einem Körper berührt; ja nicht einmal in dem Falle, wo der berührende Körper durch den Magnet ſelbſt magnetiſch wird, findet ein ſolcher Übergang Statt. Dieſes zeigt vorzüglich gut ein Verſuch mit weichem Eiſen. Hängt man dieſes an einen Magnet, ſo hat es ſelbſt magnetiſche Kraft, beſitzt zwei Pole und iſt im Stande, Eiſenfeile und kleine Drähte anzuziehen; ſo wie man es aber vom Magnete wegnimmt, kehrt es in ſeinen natürlichen Zuſtand zurück. Es kann demnach im Eiſen die magnetiſche Kraft nur dadurch erregt worden ſeyn, daß durch den Einfluß des Magnetes eine Trennung der zwei ſchon darin enthaltenen magnetiſchen Flüſſigkeiten bewirkt wurde. Man darf ſich aber auch nicht vorſtellen, daß beim Magnetiſchwerden des Eiſens oder eines anderen Körpers ein magnetiſches Fluidum in die eine, das andere in die zweite Hälfte des neuen Magnetes übergehe und demnach das Fluidum im Inneren des Körpers bedeutende Ortsveränderungen vornehme; denn wenn man ein magnetiſirtes Stück Eiſen in beliebige Stücke zerſchneidet, ſo iſt jedes derſelben ein ganzer Magnet mit zwei Polen, welches nicht ſeyn könnte, wenn nicht an jeder Stelle des Eiſens beide magnetiſche Fluida vorhanden wären. Daher kann das Magnetiſchwerden eines Körpers nur dadurch vor ſich gehen, daß die Trennung der zwei magnetiſchen Fluida nur in einem ungemein kleinen Stücke jenes Körpers, in einem magnetiſchen Elemente desſelben, erfolgt. Die Größe eines ſolchen Elementes hängt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Trennung der zwei magnetiſchen Flüſſigkeiten in einem Elemente erfolgt nicht bei allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit, aber

je leichter dieſe Trennung erfolgt, deſto leichter geht auch ihre Wiedervereinigung von Statten. Man nennt die Kraft, welche ſich der Trennung widerſetzt, Coercitivkraft.

269. Nach der vorher aufgeſtellten Anſicht über den inneren Verlauf der magnetiſchen Phänomene wird zum Magnetiſchwerden eines Körpers erfordert, daß er das magnetiſche Princip in ſich enthalte und daß es in ſeine zwei ungleichartigen Beſtandtheile getrennt werden könne. Wenn auch ein Körper durch das gewöhnliche Verfahren nicht magnetiſch wird, ſo darf man ihm darum das magnetiſche Princip noch nicht abſprechen; denn ſeine Coercitivkraft kann ja ſo groß ſeyn, daß unſere gewöhnlichen Mittel nicht im Stande ſind, die Trennung des magnetiſchen Princips in den magnetiſchen Elementen zu bewerkſtelligen.

Zweites Kapitel.

Erdmagnetismus.

270. Hängt man einen Magnet ſo auf, daß er ſich frei nach jeder Richtung drehen kann; ſo ſteht er immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem anderen gegen Süden. Deßwegen heißt man jenen den Nordpol, dieſen den Südpol des Magnetes und dieſe Eigenſchaft überhaupt magnetiſche Polarität. Die Verticalebene, in welcher ſich die Pole eines frei hängenden Magnets, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetiſcher Meridian. Vergleicht man dieſen mit dem geographiſchen Meridiane des Beobachtungsortes; ſo findet man, daß beide ſich unter einem Winkel ſchneiden, welcher die Abweichung *(declinatio)* des Magnetes heißt. Hat man einen Magnet in ſeinem Schwerpuncte ſo befeſtigt, daß er ſich zugleich um eine horizontale Axe drehen kann; ſo bemerkt man, daß ſich ſein Nordpol unter die Horizontalebene hinabſenkt. Der Winkel, welchen er mit dem Horizonte macht, wird die Neigung *(inclinatio)* des Magnetes genannt. Eine auf der Axe eines im Schwerpuncte aufgehängten Magnetes ſenkrechte Ebene heißt der magnetiſche Äquator.

Da nun jeder Pol eines Magnetes einen beſondern Namen hat, ſo läßt ſich das oben (267) angeführte Geſetz der Einwirkung zweier Magnete auf einander auch ſo ausdrücken: Gleichnamige Pole ſtoßen ſich ab, ungleichnamige ziehen ſich an.

271. Aus dieſen Erſcheinungen kann man abnehmen, daß die Erde wie ein Magnet auf einen anderen Magnet wirke und demnach ſelbſt magnetiſche Kräfte beſitze. Man kann dieſes aber noch mehr durch Folgendes bekräftigen. Hält man nämlich eine weiche Eiſenſtange in den magnetiſchen Meridian und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht; ſo lehrt die Erfahrung, daß ſie alſogleich magnetiſche Polarität zeigt und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengeſetzte den Südpol, verliert dieſe Eigenſchaft aber augenblicklich, ſobald man ſie aus dieſer Richtung in irgend eine darauf ſenkrechte bringt. Eigentlich iſt eine Eiſenſtange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetiſche Polarität, in jeder anderen beſitzt ſie dieſe in einem deſto größeren Grade, je mehr ſich ihre Richtung der zuerſt genannten nähert, in dieſer iſt ſie am größten. Es iſt leicht einzuſehen, daß der Nordpol eines Magnetes und der gegen Norden gelegene magnetiſche Pol der Erde freundſchaftliche, mithin ungleichartige Pole ſind, und daß man daher jenen Südpol nennen ſoll, wenn man dieſen Nordpol heißt. Indeß iſt es in Deutſchland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen.

272. Um die magnetiſche Kraft der Erde kennen zu lernen, muß man ihren Angriffspunct und für jeden Punct der Erdoberfläche ihre Richtung und Größe zu beſtimmen ſuchen.

273. Die Erde wirkt auf einen Magnet nicht blos anziehend, oder blos abſtoßend, ſondern anziehend und abſtoßend zugleich; denn wäre dieſes nicht der Fall, ſo müßte ein Stück Eiſen, nachdem es magnetiſirt worden iſt, ein größeres oder kleineres Gewicht haben als vor dem Magnetiſiren; die Erfahrung lehrt aber, daß durch Magnetiſiren das Gewicht eines Körpers nicht im mindeſten verändert werde und beweiſet dadurch nicht blos das gleichzeitige Einwirken einer anziehenden und abſtoßenden Kraft, ſondern auch die vollkommene Gleichheit dieſer zwei Kräfte. Demnach muß jeder Punct eines Magnetes von der Erde angezogen und abgeſtoßen werden. Sind *AM* und *BM* (Fig. 268) die Pole eines ſolchen Magnetes, ſo wird jeder Punct derſelben von der Erde angezogen und abgeſtoßen. Sind *AC* und *BD* die Richtungen und Größen der Kräfte, welche die Puncte *A* und *B* anziehen, *AE* und *FB* diejenigen, welche ſie abſtoßen; ſo ſtellen die Diagonalen *AG* und *BH*

der Parallelogramme *AEGC* und *BFHD* die zwei Reſultirenden vor. Auf ähnliche Weiſe findet man die Reſultirende jedes anderen Punctes der zwei Magnethälften, alle dieſe Reſultirenden eines Poles ſind offenbar einander parallel, aber der Größe nach verſchieden und haben auch eine ihnen parallele Reſultirende und es iſt klar, daß die Reſultirende der Kräfte des einen Poles jener der Kräfte des anderen nur dann das Gleichgewicht halten kann, wenn die Richtungen mit *AB* zuſammenfallen. (*I.* 93) Umgekehrt kann man ſchließen, daß die Axe eines Magnetes, an welchem die Kräfte des Erdmagnetismus im Gleichgewichte ſtehen, in der Richtung der magnetiſchen Kraft der Erde liege. Demnach zeigt die Richtung eines frei ſchwebenden, in ſeinem Schwerpuncte aufgehängten Magnetes die Richtung der magnetiſchen Kräfte der Erde für den Beobachtungsort an. Dieſe Richtung iſt aber ſelbſt wieder durch die magnetiſche Abweichung und Neigung gegeben; man wird daher durch Beobachtung dieſer zwei Größen zur Kenntniß der Richtung des Erdmagnetismus gelangen.

274. Die Reſultirende aller anziehenden und abſtoßenden Kräfte, welche zwiſchen der Erde und jedem Puncte eines Magnetpoles Statt finden, muß der Summe dieſer einzelnen Kräfte gleich ſeyn und ihren Angriffspunct zwiſchen der indifferenten Ebene und dem äußerſten Puncte des Poles haben, der Mittelpunct dieſer magnetiſchen Kräfte (*I.* 93) heißt der mathematiſche Pol des Magnetes. Es iſt klar, daß jeder Magnet zwei ſolche Pole haben müſſe, gleichwie er zwei phyſiſche Pole (266) beſitzt, und daß die Kräfte beider einander vollkommen gleich ſeyen; denn wäre letzteres nicht, ſo müßte ein an einem Faden hängender Magnet nach der Seite des ſtärkeren Poles fortrücken, welches, der Erfahrung zu Folge, nicht geſchieht. Man kann demnach annehmen, ein magnetiſcher ſchwerer Körper werde von drei Kräften afficirt: 1) Von der Schwere, die vom Schwerpuncte vertical abwärts wirkt. 2) Von zwei gleichen, magnetiſchen Kräften, die in den Polen ihre Angriffspuncte haben und mit der Richtung des Erdmagnetismus parallel ſind. Wird der Magnet in ſeinem Schwerpuncte unterſtützt, ſo iſt die Wirkung der Schwere auf ihn aufgehoben und er gehorcht ganz allein den magnetiſchen Kräften (Suppl. S. 712).

275. Die Abweichung des Magnetes beſtimmt man mittelſt eines Inſtrumentes, das man magnetiſches Declinatorium nennt. Das Weſentliche eines ſolchen Inſtrumentes beſteht

darin, daß ein hinreichend langer, magnetiſcher Stab an einen feinen Faden gehängt wird oder mittelſt eines Hütchens auf einer feinen, verticalen Spitze mit möglichſt geringer Reibung über einer horizontalen, eingetheilten Platte ſpielt, ſo daß ſich die Lage ſeiner Axe genau angeben läßt. Man hat mehrere Inſtrumente dieſer Art, deren einige die magnetiſche Abweichung unmittelbar durch eine oder mehrere Beobachtungen, andere aber erſt durch Rechnung geben, oft ſind ſie ſehr complicirt. (Suppl. S. 715. Pogg. Ann. 7. 121; 9. 67. Gehlers phyſ. Wörterbuch, neu bearb. 1. 133.)

276. Auch zur Beſtimmung der magnetiſchen **Neigung** hat man ein beſonderes Inſtrument, welches **magnetiſches Inclinatorium** heißt. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt noch delicater als die eines Declinatoriums, weil es ſehr ſchwer hält, einen Magnet genau in ſeinem Schwerpuncte zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. **Mayer** angegebenes, ſehr ſinnreiches Verfahren doch ſehr genaue Reſultate erhalten. Man kann aber auch aus der Anzahl der Schwingungen, welche ein Magnet in einer gewiſſen Zeit macht, wenn er in der Ebene des magnetiſchen Meridians und dann in einer darauf ſenkrechten verticalen Ebene oscillirt, ſeine Neigung mit großer Schärfe beſtimmen. Um dieſes einzuſehen, denke man ſich einen Magnet, der im Gleichgewichte die Lage AB (Fig. 269) hat und durch eine Kraft in die Lage ab verſetzt wird. Iſt der Theil des Erdmagnetismus, welcher in der Ebene dieſer Zeichnung wirkt, gleich p, $BCb = a$; ſo wirkt p auf b und a nach einer mit AB parallelen Richtung, weil der Erfahrung gemäß in wenig von einander entfernten Orten die Richtungen eines Magnetes parallel ſind. Iſt $p = bc = ad$, ſo kann man jede dieſer Kräfte in eine mit ab parallele bc und af und in eine darauf ſenkrechte ec und fd zerlegen. Erſtere werden durch den Widerſtand des Magnetes aufgehoben, letztere bewirken eine Rückkehr desſelben nach AB. So wie er aber daſelbſt angelangt iſt, muß er nach der entgegengeſetzten Richtung von AB abweichen und überhaupt wie ein Pendel oscilliren. Sogar die Kraft, welche dieſe Bewegung hervorbringt, iſt der bei ſchweren Pendeln wirkenden ähnlich; denn es iſt $ce = bc.\ \sin cbe = p.\ \sin a$. Oscillirt nun ein Magnet in der Ebene des magnetiſchen Meridians um eine horizontale Axe, ſo iſt p die ganze Kraft des Erdmagnetismus $= P$; geſchehen aber die Oscillationen in einer darauf ſenkrechten verticalen Ebene, ſo be-

deutet p den vertical wirkenden Theil des Erdmagnetismus. Iſt I die magnetiſche Neigung, ſo iſt letztere Kraft $P \sin I$. Werden in einer gewiſſen Zeit in erſterer Ebene N, in der zweiten n Oscillationen gemacht, ſo hat man den Geſetzen der Pendelbewegung gemäß (*I.* 241)

$$N^2 : n^2 = P : P \sin I \text{ und daher } \sin I = \frac{n^2}{N^2}.$$

Siehe hierüber Suppl. S. 718 u. ſ. f.

277. Die magnetiſche Abweichung iſt, ſo wie alle übrigen Elemente des Erdmagnetismus, in der neueſten Zeit mit beſonderem Fleiße und von ausgezeichneten Gelehrten (Humboldt, Erman, Hanſteen, Arago ꝛc.) unterſucht worden. Die Reſultate dieſer als auch der älteren Beobachtungen ſind folgende: Die Abweichung der Magnetnadel iſt nicht an allen Orten dieſelbe; es gibt Stellen der Erde, wo gar keine Abweichung iſt und wo daher der Nordpol einer Magnetnadel genau nach dem Nordpole der Erde hinweiſet, in einigen Orten iſt die Abweichung weſtlich, wie z. B. gegenwärtig in ganz Europa, in anderen öſtlich, wie z. B. jetzt an der Weſtküſte von Amerika. Linien, welche durch Orte von gleicher Abweichung gehen, heißen iſogoniſche. Solche Linien von 0° Abweichung gab es im Jahre 1829 auf der Erde nach Erman (Pogg. Ann. 21. 119) nur zwei, doch hat jede mehrere Zweige. Eine dieſer Linien geht durch das Feſtland von Aſien bei Niſchnei Nowgorod, das Ochozker Meer, den großen Ocean, dann durch den Continent von Neuholland zum Südpol der Erde; die andere geht vom Südpole der Erde aus, durchſchneidet den ſüdlichen atlantiſchen Ocean, tritt etwas nördlich von Rio-Janeiro in den amerikaniſchen Continent und durchſchneidet Nordamerika. Dieſe beiden Linien ſind ſich an Geſtalt keineswegs völlig ähnlich und gleichen überhaupt nicht Linien von einfacher Krümmung. Die iſogoniſchen Linien von anderen Abweichungswerthen weichen gar ſehr an Geſtalt von einander ab. Erman führt vier verſchiedene Formen derſelben an und zwar 1) geſchloſſene, d. h. ſolche, die in ſich zurückkehren, ohne einen der beiden aſtronomiſchen Erdpole zu erreichen; 2) zurückkehrende, d. h. ſolche, die von einem Erdpole ausgehen und wieder dahin zurückkehren, ohne den anderen Pol zu treffen; 3) kreuzende, d. h. ſolche, die von einem Pole zum anderen gehen, endlich 4) ſolche, die ſich an einem Puncte in zwei Zweige ſpalten, in einen

zurückkehrenden und in einen kreuzenden. Die Geſtalt und Lage dieſer iſt keineswegs unveränderlich, denn die Abweichung unterliegt beſtändigen Änderungen und die Magnetnadel rückt an einigen Orten jährlich um einige Minuten nach Weſten, an anderen nach Oſten, wieder an anderen bleibt ſie aber einige Zeit ohne merkliche Bewegung. Vor Anfang dieſes Jahrhundertes war die weſtliche Abweichung in ganz Europa im Zunehmen, bald nach Anfang dieſes Säculums blieb ſie einige Zeit unverändert, nun nimmt ſie aber ab. Dieſe jährliche Änderung der Abweichung erfolgt aber keineswegs durch ein ununterbrochenes Fortſchreiten der Magnetnadel nach einer beſtimmten Richtung, ſondern ſie iſt das Reſultat von Oscillationen, bei denen die Magnetnadel nach einer Richtung vom magnetiſchen Meridiane weiter ausſchlägt, als nach der entgegengeſetzten und ſo den Meridian ſelbſt nach der Richtung der größeren Bewegung fortſchreiten macht. Wenn man nämlich eine hinreichend lange, an einem ſehr biegſamen Faden hängende Magnetnadel von Stunde zu Stunde beobachtet und ſich dabei einer Vorrichtung bedient, welche die kleinſten Bewegungen derſelben ſichtbar macht und zu meſſen geſtattet; ſo überzeugt man ſich, daß ſich die Magnetnadel von Morgen zwiſchen 6—9 Uhr, wo ſie den öſtlichſten Stand hat, bis gegen 1—2 Uhr raſch nach Weſten bewege und dann, mit einer geringen Unterbrechung, bis 1—2 Uhr Morgens allmählig wieder zu ihrem öſtlichen Stande zurückkehre. Nach 1—2 Uhr beginnt eine zweite Schwingung von 7ſtündiger Dauer, die aber nicht ſo regelmäßig der Zeit nach erfolgt, auch der Größe nach völlig unbedeutend iſt und mehr als ein unbeſtimmtes Schwanken angeſehen werden kann. Die Zeit des Maximums der weſtlichen Abweichung ſcheint in den Sommermonaten früher als in den Wintermonaten einzutreten, auch iſt die Größe der Veränderung im Sommer größer als im Winter und näher an den Polen ſtärker als näher am Äquator; alles erfolgt aber in Tiefen, wo keine Temperaturänderung mehr vorgeht, eben ſo wie auf der Erdoberfläche. Aus dem Gebundenſeyn dieſer Veränderungen an fixe Stunden geht ſchon hervor, daß ſie nicht an allen Orten in demſelben Augenblicke beginnen, ſondern daß der Anfang einer Oscillation von Oſt nach Weſt (mit der Sonne) fortrücke. — Außer dieſen regelmäßigen Bewegungen einer Abweichungsnadel gibt es auch noch unregelmäßige, eigentliche Störungen, denen bald locale, bald

allgemeine Urſachen zum Grunde liegen. Dieſe Störungen zeigen ſich entweder als unruhiges Schwingen der Nadel oder als Abweichung von dem gewöhnlichen Stande. Beide nehmen mit der geographiſchen Breite ab, erſtere ſind aber bei ſchwachen Nadeln und an der Erdoberfläche ſtärker als bei ſtarken Nadeln und in Tiefen von beſtändiger Temperatur. Die ſtärkſten Störungen treten zur Zeit eines Nordlichtes ein und zeigen ſich ſelbſt an Orten, wo das Nordlicht nicht ſichtbar iſt, erſtrecken ſich auch auf ungeheure Entfernungen, indeß hat man derlei Störungen auch anderen Meteoren, z. B. ſtarken Schneefällen, vorangehen ſehen. (Dove in Pogg. Ann. 19. 357.)

278. Auch die magnetiſche Neigung iſt nicht allenthalben von gleicher Art und Größe. An einigen Theilen der Erde (ganz Europa gehört dahin) ſenkt ſich der Nordpol der Magnetnadel unter den Horizont, an anderen der Südpol, d. h. an einigen Orten herrſcht eine nördliche, an anderen eine ſüdliche Neigung; es ſind aber auch Stellen der Erde, wo es gar keine Neigung gibt. Die Linie, welche durch dieſe Stellen geht, heißt der magnetiſche Äquator der Erde. Die Geſtalt desſelben iſt, den neueſten Unterſuchungen zu Folge, bei weitem nicht ſo complicirt als man noch vor Kurzem glaubte. Nach Duperrey (*Ann. de Chim.* 45. 371) ſchneidet derſelbe den geographiſchen Erdäquator nur an zwei Stellen, deren eine im atlantiſchen, die andere im großen Oceane (beide nahe in der Ebene des Pariſer Meridians) liegt, er entfernt ſich von da aus vom geographiſchen Äquator, jedoch, ſo lange er nur kleine und wenige Inſeln trifft, nur wenig und erlangt ſeinen größten nördlichen und ſüdlichen Abſtand (von ungefähr 15°) von demſelben in den großen Continenten, durch die er geht. Seine nördliche Hälfte hat mit ſeiner ſüdlichen viel Ähnlichkeit. Fig. 270 ſtellt den Zug des magnetiſchen Erdäquators dar. Die Linien, welche durch Orte von gleicher Neigung gehen, heißen iſocliniſche. Dieſe ſind nicht etwa dem magnetiſchen Äquator (der iſocliniſchen Linie von 0°) parallel, doch nähern ſie ſich nach Erman mehr dem Parallelismus als die iſogoniſchen, ſind ſämmtlich geſchloſſen und von doppelter Krümmung. Je mehr man ſich vom magnetiſchen Äquator gegen Norden entfernt, deſto größer wird die nördliche, und je weiter man ihn gegen Süden verläßt, deſto größer wird die ſüdliche Neigung. — So wie die Abweichung, unter-

liegt auch die magnetiſche Neigung beſtändigen Veränderungen, doch hält es ſchwer, dieſelben genau zu beſtimmen und man iſt hierin noch bei weitem nicht ſo weit als mit der Abweichung. Die Neigung nimmt in einigen Orten jährlich ab, in anderen zu, in noch anderen bleibt ſie längere Zeit unverändert. Gegenwärtig nimmt ſie in Europa ab. Nach Hanſteen (Pogg. Ann. 21. 361) betrug im Jahre 1780 im mittleren Europa die jährliche Abnahme derſelben 5′—6′, ſank bis zum Jahre 1830 auf 3′ herab und wird wahrſcheinlich noch vor dem Schluſſe dieſes Jahrhunderts den kleinſten Werth erreichen. Hier folgen einige Neigungswerthe (+ bedeutet nördliche, — ſüdliche Neigung.)

Nutka 1793	= 73° 56′	Rom 1830	= 62°
Petropaulowsk 1829	= 63° 54′.5	Marſeille 1798	= 65° 40.4
Petersburg 1830	= 71° 8′.9	Madrid 1798	= 68° 6
Stockholm 1830	= 71° 45′.0	St. Helena 1824	= — 14.56.6′
Chriſtiania 1830	= 72° 9′.8	Cap der guten Hoffnung 1792	= — 47° 25′
Göttingen 1814	= 69° 9	Otaheiti 1830	= — 30° 29′.5
London 1830	= 69° 37′.5	Isle de France 1824	= — 53 51.2
Brüſſel 1830	= 68° 52′.6	Rio Janeiro 1830	= — 13° 38′.9
Paris 1830	= 67° 41′.3	Valparaiſo 1829	= — 40° 20′
Genf 1830	= 65° 31.2	Lima 1823	= — 8. 33′.3
Mailand 1830	= 64 15.9		

279. Über die Stärke der magnetiſchen Kraft der Erde an verſchiedenen Puncten ihrer Oberfläche geben Verſuche mit Schwingungsmagneten die genaueſten Aufſchlüſſe. Man bedient ſich dazu am beſten eines möglichſt gehärteten, geraden, magnetiſirten Stahlſtabes ab (Fig. 271), deſſen Magnetismus als beſtändig angeſehen werden kann und der mittelſt einer kleinen, papierenen Scheide, welche ihn in horizontaler Lage erhält, an einem einfachen Seidenfaden aufgehängt und zur Abhaltung jedes Luftzuges mit einem Glaskaſten bedeckt iſt. Man beobachtet die in einer gewiſſen Zeit vollbrachte Schwingungsanzahl, wenn der Magnet um den magnetiſchen Meridian oscillirt. Heißt N die Anzahl der Schwingungen, welche dieſer Magnet in der horizontalen Ebene in einer gewiſſen Zeit an einem Orte macht, n diejenige, welche er in derſelben Zeit in einem anderen Orte vollbringt, p der horizontal wirkende Theil des Erdmagnetismus im erſten, p' der im zweiten Orte; ſo hat man den Geſetzen der Pendelbewegung gemäß:

$$N^2 : n^2 = p : p'.$$

Es dienen alſo die Schwingungszahlen zur Vergleichung der magnetiſchen Kräfte. Denſelben Zweck erreicht man auch durch Beobachtung der Zeit, in welcher eine gewiſſe (nicht zu kleine) Anzahl von Schwingungen vollbracht wird. Sind dieſe Zeiten in zwei Orten T und t und die ihnen entſprechenden Kräfte wie vorhin p und p'; ſo hat man

$$T^2 : t^2 = p' : p.$$

Dividirt man die ſo gefundenen magnetiſchen Kräfte, die nur den horizontal wirkenden Theil des Erdmagnetismus angeben, mit dem Coſinus der magnetiſchen Neigung, ſo iſt die ganze magnetiſche Kraft gefunden. Man darf aber hier ſo wie bei Schwingungsverſuchen zum Behufe der magnetiſchen Inclination nicht vergeſſen, daß die Reſultate derſelben nur dann mit einander vergleichbar ſind, wenn der Magnet ſtets dieſelbe Kraft behält oder die Änderung derſelben in Rechnung gebracht werden kann; denn die Kraft p, welche auf ein magnetiſches Pendel wirkt, iſt eigentlich das Product aus der Kraft des Magnets in die der Erde, und zwei ſolche Kräfte verhalten ſich nur dann wie die Kräfte der Erde, wenn der Magnet ſtets dieſelbe Intenſität behält. Weil es aber ſchwer iſt, einen Magnet von ganz unveränderlicher Kraft zu erhalten und auch Variationen ſeiner Kraft ſich nicht mit voller Sicherheit in Rechnung bringen laſſen; ſo hat Poiſſon ein anderes von den Veränderungen der magnetiſchen Kraft einer Nadel unabhängiges Mittel angegeben, welches in der neueſten Zeit von Rieß und Moſer mit einer von ihnen angebrachten Verbeſſerung angewandt worden iſt. (Pogg. Ann. 18. 226; 19. 161. Schweigg. J. 57. 79.)

280. Die Intenſität des Erdmagnetismus iſt keineswegs allerorts gleich, ſondern im Allgemeinen in der Regel deſto größer, je größer die geographiſche Breite eines Ortes iſt; Linien, welche Orte von gleicher magnetiſcher Kraft mit einander verbinden, heißen iſodynamiſche. Dieſe Linien ſind geſchloſſen, aber weder mit dem geographiſchen noch mit dem magnetiſchen Äquator der Erde noch unter ſich parallel; jede dieſer Linien hat aber an zwei Stellen die größte, an zwei anderen die kleinſte Entfernung von den Erdpolen. Man nimmt gewöhnlich die Größe der magnetiſchen Kraft, welche

Alex. Humboldt im Jahre 1799 auf dem magnetiſchen Äquator in Peru gefunden hatte, als Einheit an und mißt mit dieſer die magnetiſche Kraft an anderen Orten der Erde. Die kleinſte Kraft ſoll nach Erman wenig von 0.75 abweichen. Es iſt kaum zu zweifeln, daß auch dieſe Kraft Änderungen unterliege, doch hat man ſie bis jetzt, der großen Schwierigkeiten der Aufgabe wegen, nicht mit genügender Genauigkeit meſſen können. Ältere Unterſuchungen hierüber ſind wegen gänzlicher Vernachläſſigung oder unrichtiger Correction des Wärmeeinfluſſes unbrauchbar und auch die neueſten geben nur die Änderungen des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus, die auch von Variationen der Neigung herrühren können. (Pogg. Ann. 21. 153; 3. 361; 6. 309; 9. 49. Zeitſch. 2. 212; 8. 219 u. 221). Fig. 272. ſtellt eine iſocliniſche und eine iſodynamiſche Linie auf einer Polarprojection der Erde vor, wie ſie Erman angibt.

281. Die Frage, wie in der Erde die magnetiſche Kraft vertheilt ſeyn muß, damit die magnetiſchen Phänomene auf ihr ſo vor ſich gehen, wie ſie die Erfahrung nachweiſet, beſchäftiget die Phyſiker ſchon lange Zeit. Man betrachtet die Erde faſt allgemein als einen Magnet mit Polen, wiewohl dieſe Anſicht nicht die einzige mögliche iſt und es die neuere Zeit wahrſcheinlicher gemacht hat, daß die Erde ihre magnetiſche Kraft electriſchen Einflüſſen verdanke; aber auch in dieſem Zuſtande kann man der Erde einen Magnet ſubſtituiren, deſſen Wirkungen mit den ihr eigenen zuſammenfallen, es herrſchen aber über die Anzahl und Lage der Pole dieſes Magnetes und ihre Bewegung verſchiedene Anſichten. Halley nahm vier magnetiſche Pole in der Erde an, Euler zwei; allein da ihnen das Geſetz, nach welchem die angenommenen Pole auf einen Magnet wirken, nicht bekannt war; ſo konnten ſie die Richtigkeit ihrer Annahme und ihre Übereinſtimmung mit der Erfahrung nicht durch Rechnung prüfen. Mayer war der erſte, der auf Rechnung geſtützt die Polarität der Magnete aus einem im Innern der Erde angenommenen Magnete herleitete. Biot erklärte die Abweichung und Neigung der Magnete aus kleinen, hie und da zerſtreuten Magneten in der Erde, Steinhäuſer aus der Bewegung eines in der Erde befindlichen kleinen magnetiſchen Planeten; Hanſteen kehrte wieder zur Annahme zweier Magnete von verſchiedener Stärke zurück, die cylindriſch ſind, ſich im Innern der Erde ſchneiden und ihre Pole tief unter der Oberfläche der Erde

haben. Der eine Nordpol liegt im nordweſtlichen Amerika, der andere im nordöſtlichen Sibirien, ein Südpol unter Neuholland, der andere unter dem Feuerlande. Um die Variationen der Abweichung, Neigung und Intenſität zu erklären, ertheilt er den Polen dieſer Magnete eine Bewegung und zwar läßt er die beiden Magnetpole der nördlichen Halbkugel ſich nach Oſten, die in der ſüdlichen nach Weſten bewegen. — Die Variationen der magnetiſchen Neigung laſſen ſich vollſtändig erklären, wenn man annimmt, die Linie ohne Neigung rücke von Oſt nach Weſt fort und lege in einem Jahre 13′⅓ zurück. Wenn bei dieſer Bewegung die Linie ohne Neigung einem Orte näher kommt, ſo wird die Neigung daſelbſt vermindert, wenn ſie ſich von ihm entfernt, vergrößert. Kupffer ſucht auch die Variationen der Abweichung aus der Bewegung der Linien ohne Abweichung zu erklären. So wie ſich eine ſolche Linie einem Orte nähert, nimmt daſelbſt die Abweichung ab und umgekehrt. Da es mehrere ſolche Linien ohne Abweichung gibt, ſo wird ſich einem Orte die eine nähern, die andere aber davon entfernen, und die Abweichung kann ſich darum nur bis zu einer beſtimmten Größe ändern. Es iſt klar, daß dieſe Bewegungen mit denen der magnetiſchen Erdpole in unmittelbarer Verbindung ſtehen. Foſter und Barlow erklären auch die täglichen magnetiſchen Variationen aus der Annahme, daß die magnetiſche Axe der Erde um ihren mittleren Ort täglich einen Kreis beſchreibe, deſſen Halbmeſſer 2′ — 3′ im Bogen beträgt. Aber wodurch werden dieſe Bewegungen der Axe hervorgebracht? Dieſe Frage läßt ſich noch nicht genügend beantworten. Die langſam erfolgenden Bewegungen hängen wahrſcheinlich von einer Einwirkung der Himmelskörper auf unſere Erde ab, die ſchneller erfolgenden kommen ohne Zweifel auf Rechnung der erwärmenden oder erleuchtenden Kraft der Sonne, weil ſie mit dem Wechſel der Jahreszeiten und mit Tag und Nacht ſo innig zuſammenhängen. (Zeitſch. 1. 64, 3. 82, 325 und 332. Berzelius Jahresbericht 1827. S. 51. — Hanſteen's Unterſuchungen über den Magnetismus der Erde. Chriſtiania 1819. Gilb. Ann. 29. 1 und 251. Suppl. S. 752—771.)

Drittes Kapitel.

Verfahren, um dem Eiſen dauernden Magnetismus zu ertheilen.

282. Man weiß ſchon ſeit langer Zeit, daß ein eiſerner Draht, oder ein anderes Stück dieſes Stoffes magnetiſch wird, wenn man es ſchlägt, feilt, dreht, windet oder auf irgend eine andere Weiſe mechaniſch behandelt; aber man konnte nicht vorausſagen, welches Ende der Nordpol, welches der Südpol des ſo entſtandenen künſtlichen Magnetes ſeyn wird, bis uns Pönitz und Scoresby darüber belehrten, und Folgendes zeigten: 1) Ein Eiſenſtab wird in jeder Lage, nur die des magnetiſchen Äquators ausgenommen, durch Schlagen mit einem Hammer oder einem anderen harten Körper, wohl auch durch Feilen, Biegen oder Winden magnetiſch. Ja es erlangt ein eiſerner Draht ſchon magnetiſche Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetiſchen Äquator abweicht, und es bekommt ſein oberes Ende einen Süd- das untere einen Nordpol. Allein dieſer Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage ſchlägt, biegt, dreht, ſtreckt, feilt oder ſonſt mechaniſch verändert. 2) Macht man Eiſen rothglühend und löſcht es in lothrechter Lage im Waſſer ab; ſo wird es magnetiſch und das obere Ende erhält den Süd- das untere den Nordpol. 3) Den ſtärkſten Magnetismus erlangt ein Eiſenſtab, wenn er vertical geſtellt wird und mit ſeinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eiſenſtange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer ſchlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen dieſen Operationen iſt es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetiſirend wirkt, die mechaniſche Behandlung des zu magnetiſirenden Körpers disponirt denſelben nur zur leichteren Trennung ſeiner magnetiſchen Kräfte.

In der neueren Zeit hat man am Sonnenlichte ein neues Mittel, Magnetismus zu erregen, kennen gelernt. Morechini fand zuerſt, daß eine Stahlnadel magnetiſch werde, wenn man ſie in den violetten Theil des prismatiſchen Farbenbildes ſtellt oder durch eine Sammellinſe dieſes Licht concentrirt auf ſie fallen läßt. M. Sommerville hat dieſen Verſuch dahin abgeändert, daß ſie die zu magnetiſirende Stahlnadel zur Hälfte mit Papier bedeckte und ſie dann durch violettes Licht beleuchtete. Sie fand nach einiger Zeit die Nadel mag-

netiſch und zwar hatte immer der dem Lichte ausgeſetzte Theil einen Nordpol. Auch blaue und grüne Strahlen bewirkten dasſelbe, wiewohl erſt nach längerer Zeit; die orangen, gelben und rothen Strahlen brachten aber keine Wirkung hervor. Stahlnadeln von $\frac{1}{3}$—$\frac{1}{4}$ L. Dicke werden auch magnetiſch, wenn man ſie an einem Ende polirt und dann dem vollen directen Sonnenlichte ausſetzt: da bekommt das polirte Ende immer den Nordpol. Man kann auf dieſe Weiſe an einem Stücke ſo viele Nordpole erzeugen, als es polirte Stellen hat. Es gehört aber dazu ziemlich intenſives Licht, deßhalb (und vielleicht auch aus noch anderen bisher unbekannten Gründen) gelingen ſolche Verſuche nur in den ſchönſten Sommermonaten. Daß die Erwärmung daran keinen Antheil habe, ſieht man daraus, daß man ſolche Nadeln mittelſt des Lichtes auch unter Waſſer magnetiſiren kann. (Zeitſch. *I.* 263.) Es haben zwar Rieß und Moſer dieſe Einwirkung des Sonnenlichtes läugnen zu müſſen geglaubt, weil ſie bei ihren Verſuchen keine Magnetiſirung durch Licht zu Stande bringen konnten; allein bei vorliegenden poſitiven Reſultaten ſcheinen mir negative anderer Experimentatoren keinen hinreichenden Grund gegen das Daſeyn photomagnetiſcher Erſcheinungen abzugeben, um ſo mehr, da Zantedeschi's ſpäter zu erwähnende Erfahrungen über den Einfluß des Lichtes auf Magnete vorliegen. (Pogg. Ann. 16. 563.) — Über das Magnetiſiren durch Electricität wird in der Folge die Rede ſeyn.

283. Kräftiger wird das Eiſen durch einen Magnet magnetiſirt, mit dem es nach gewiſſen Richtungen geſtrichen wird. Man unterſcheidet bei der Magnetiſirung durch Streichen drei vorzügliche Methoden: den einfachen Strich, den Doppelſtrich, und den Kreisſtrich. Beim einfachen Striche fährt man einige Male mit einem Pole eines ſtarken Magnetes von der Mitte des zu magnetiſirenden Eiſenſtabes nach einem Ende zu, aber nicht wieder von da zurück gegen die Mitte, weil dadurch der ſchon erzeugte Magnetismus verloren ginge; iſt dieſes einige Male geſchehen, ſo behandelt man die zweite Hälfte des Stabes auf gleiche Weiſe mit dem andern Pole des Magnetes. Durch dieſes Verfahren erlangt aber ein nur etwas dicker Stab nie den größtmöglichſten Grad des Magnetismus, er bekommt oft in der Mitte abwechſelnde Nord- und Südpole (Folgepuncte), beſonders wenn man mit dem Magnete an einigen Stellen länger verweilt, als an anderen und wenn der Stab lang und von hartem Eiſen oder gar von Stahl iſt. Es iſt dieſe Methode aber ſehr brauchbar, wenn es ſich darum handelt, ein Stahlblech nur an beſtimmten Stellen zu magnetiſiren. Nimmt man einen Magnet,

der an einem Ende abgerundet iſt und zeichnet mit demſelben auf einem rein geſcheuerten Stahlbleche Figuren, ſo nimmt dieſes an den geſtrichenen Stellen Magnetismus an und man kann die Figuren ſogar durch aufgeſtreute Eiſenfeile ſichtbar machen und ſie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitſch. 7. 367.) Beim Kreisſtriche werden vier Stahl- oder Eiſenſtäbe ſo gelegt, daß ſie ein Quadrat bilden, und auf dieſem zwei Magnete nicht weit von einander mit ungleichnamigen Polen mehrmal rings herum geführt. Wenn man mehrere Magnetſtäbe durch einen Ring in der Richtung ſeiner Halbmeſſer ſteckt, ſo daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüber ſtehen und einen kleinen Raum zwiſchen ſich übrig laſſen; ſo kann man durch dieſen einen Eiſenſtab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetiſiren. Auf dieſe Weiſe erhält er nach ſeiner Länge ſo viele Pole, als man Magnetſtangen angewendet hat und jeder derſelben liegt in einer mit ſeiner Axe parallelen Linie. Ein ſolcher Magnet iſt dann ein Transverſalmagnet.

284. Beim Doppelſtriche führt man zwei entgegengeſetzte Magnetpole längs dem zu magnetiſirenden Stahle hin und zwar entweder nach einerlei oder nach entgegengeſetzten Richtungen in aufrechter, liegender oder ſchiefer Stellung mit oder ohne Beihülfe von weichem Eiſen oder anderer Magnete. Die einfachſte Anwendung des Doppelſtriches (von Knight 1745 zuerſt angewendet) beſteht darin, daß man zwei Magnete *AB*, *A′B′* (Fig. 273), mit den entgegengeſetzten Polen *B′* und *A′*, einander gegenüber, auf einen Tiſch legt, den zu magnetiſirenden Stab *ab* darauf gibt und hierauf beide Magnete ſachte aus einander zieht, ſie wieder zurückführt, ohne den Stab zu bewegen und die Operation ſo oft wiederholt, als man es für nöthig hält. Dadurch werden kurze und dünne Stäbe ſtark magnetiſch, längere aber erhalten keineswegs alle Kraft, der ſie fähig ſind. Für ſolche wendet man mit Vortheil Duhamels Verfahren an, nach welchem der zu magnetiſirende Stab auf zwei weiche Eiſenſtäbe gelegt und mit zwei ſtarken Magneten, die gegen den erſteren Stab um 25° — 30° geneigt ſind, wie vorher angegeben wurde, geſtrichen wird (Fig. 274). Da werden durch den Magnetismus des betreffenden Stabes auch die weichen Eiſenmaſſen magnetiſch, binden gleichſam einen Theil der Kraft des Stabes und veranlaſſen ſo ein ferneres Einwirken der Magnete auf denſelben. Noch beſſere Wirkung erhält man, wenn man ſtatt der wei-

chen Eiſenſtäbe zwei ſtarke Magnete nimmt und ihre ungleichnamigen Pole unter dem zu magnetiſirenden Stabe anbringt. Dieſe Methode eignet ſich beſonders zum Magnetiſiren von Stahlſtreifen, wie man ſie zu Magnetnadeln braucht, ſobald ihre Dicke 2—2½ Linie nicht überſchreitet. Für dickere Stäbe wendet man mit mehr Vortheil das von Apinus empfohlene Verfahren an. Dieſes beſteht darin, daß man am Ende des Stabes, wie vorher, zwei ſtarke Magnetpole anbringt (Fig. 275), die zum Streichen beſtimmten Magnete unter 15°—20° gegen den Stab neigt, die ungleichnamigen Pole derſelben, mit welchen das Streichen geſchieht, mit einander verbindet und dieſelben von der Mitte des Stabes angefangen, nach einem Ende und hierauf von da gegen das andere mehrmals hinführt, aber zuletzt mitten auf dem Stabe aufhört. Bei allen dieſen Operationen bedarf es keines ſtarken Druckes von Seite der Magnete. — Bei gehöriger Anwendung des Doppel- oder Kreisſtriches werden homogene, gleichförmig dicke Stäbe zu Magneten, an denen die magnetiſchen Kräfte vollkommen ſymmetriſch vertheilt ſind. Dieſe Symmetrie wird aber geſtört und ſowohl die indifferente Ebene als die beiden Pole verändert, wenn man einen ſtarken Magnet mit einem Pole auf die Mitte des Stabes ſetzt und ihn längs desſelben hingleiten läßt. (Zeitſch. 6. 334.)

285. Es iſt begreiflich, daß der ſo erlangte Magnetismus eines Stahlſtabes, bei übrigens gleichen Umſtänden, von der Stärke des zum Magnetiſiren gebrauchten Magnetes abhänge und daß man mit ſchwachen Magneten auch nur wieder ſchwache erzeugen könne. Allein es gibt ein Verfahren, wodurch man ſelbſt mittelſt ſchwacher Magnete kräftige erzeugt. Man nimmt nämlich mehrere Stahlſtangen und theilt jeder durch den Magnet, der einem zu Gebote ſteht, Magnetismus mit; hierauf legt man zwei davon, *A* und *B*, parallel und mit entgegengeſetzten Polen neben einander, ohne daß ſie ſich berühren, und verbindet ſie mittelſt kürzerer Stücke aus weichem Eiſen ſo, daß alle vier Stäbe ein Rechteck bilden. Die übrigen Stäbe vertheilt man in zwei Bündel, wovon in einem die Nordpole, im anderen die Südpole nach Oben ſtehen, neigt ſie unter einem Winkel gegen einander, ſo daß ſie ſich oben berühren, und magnetiſiret mit ihnen *A* und *B* durch den Doppelſtrich, wodurch ſie natürlich einen viel ſtärkeren Magentismus erlangen. Hierauf legt man *A* und *B* unter die in Bündel geſammelten und erſetzt ſie durch zwei andere, verfährt mit dieſen, wie vorhin mit *A*

und *B*, und wiederholt dieſe ganze Operation ſo lange, als man noch eine Zunahme des Magnetismus bemerkt. Dadurch erhält man eine Sammlung ſtark magnetiſcher Stäbe, die man ein magnetiſches Magazin nennt.

Mittelſt eines ſolchen Magazins lehrt Steinhäuſer mit Leichtigkeit künſtliche Magnete von ungemeiner Stärke verfertigen. Es wird nämlich der Stab, welcher zu magnetiſiren iſt, mit den Stellen, wo er die Pole bekommen ſoll, an die Pole des Magazins angelegt und hierauf mit einem anderen Magnet geſtrichen. Die Stellung der Pole des ſtreichenden Magnetes iſt gleichgiltig, weil er nur gleichſam die magnetiſchen Kräfte des Stabes in Bewegung ſetzt. Man darf aber nicht vergeſſen, die Pole dieſes ſo erzeugten Magnetes mit einem geraden oder krummen Eiſenſtücke, je nachdem er ſelbſt krumm oder gerade iſt, zu verbinden. Man ſieht, es iſt dieſes nahe dieſelbe Methode, der ſich Knight bediente und mit welcher er ſich ein Magazin bereitete, das aus 480 Stahlſtangen von 1½ F. Länge beſtand, und 1000 Pfund wog. Damit machte er jeden Stahl augenblicklich magnetiſch und kehrte die Pole jedes künſtlichen und natürlichen Magnetes um. Man kann durch die bisher erwähnten Methoden auch erhärtete Maſſen von Eiſenſtaub und Öhl, die ſich in beliebige Formen bringen laſſen, magnetiſiren. Sind ſie rund, ſo nennt man ſie Terrellen, weil ſie die Erde gleichſam im Kleinen vorſtellen.

286. Wenn man den Nordpol eines Magnetes auf das Ende *A* (Fig. 276) der Eiſenſtange *AB* aufſetzt, ſo erhält *A* einen Südpol und *B* einen Nordpol; fährt man nun mit dem Magnete von *A* nach *B*, ſo hat, ſobald man in *B* angelangt iſt, *B* den Südpol und *A* den Nordpol, mithin iſt während der Bewegung des Magnetes *A* vom Südpol in den Nordpol übergegangen und *B* umgekehrt vom Nordpol in den Südpol, und es muß jener Magnet ſich auf irgend einem Puncte *E* befunden haben, während *A* weder Nord= noch Südpol war, und eben ſo in *D*, während dasſelbe von *B* Statt fand. *E* und *D* heißt Brugmann, der dieſes zuerſt entdeckte, Indifferenzpuncte. Man muß aber dieſe Indifferenzpuncte von den in jedem Magnet vorhandenen, wo gleichſam die zwei polaren Hälften zuſammengrenzen, wohl unterſcheiden. Jene finden ſich bei allen Eiſen= und Stahlſtäben und haben nur bei verſchiedenen Dicken und Längen und bei einem verſchiedenen Grade ihrer Härte, ſo wie bei einer verſchiedenen Stärke des Magnets, auch verſchiedene Lagen. — Die Polarität von *B*, welche durch Berührung des Punctes *A* mit einem Pole des Magnetes erzeugt wird, nimmt nicht

augenblicklich ab, wenn man damit von A gegen B fährt, ſondern es bekommt der ſo erzeugte Pol ſeine größte Stärke, wenn ſich der Magnet etwa in C befindet; zieht man den Magnet weiter nach B, ſo nimmt dieſe Polarität wieder ab, wird bei $D = o$ und geht endlich in die entgegengeſetzte über. Der Punct C heißt nach van Swinden, deſſen Aufmerkſamkeit wir ſeine Kenntniß verdanken, der culminirende Punct. (Brugmann's phil. Verſuche über die magnetiſche Materie (a. d. Lat.) Leipzig, 1784.)

287. Magnetiſirt man ein dünnes gerades Stahlplättchen, bringt daran ein Hütchen an, und ſtellt es damit auf eine Spitze, oder hängt es an einem feinen Seidenfaden auf, damit es ſich frei bewegen könne; ſo hat man die Vorrichtung, welche man Magnetnadel heißt. Nach Kater's Anleitung (*Phil. trans.* 1821. *p.* 104) iſt die beſte Form einer Magnetnadel ein durchbrochenes Rhomboid (Fig. 277) von 5 Zoll Länge und 2 Zoll Breite. Sie wird aus Uhrfederſtahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann ſo temperirt, daß man ſie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verſchwindet. Die Politur hat auf die magnetiſche Capacität einer ſolchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächſt, wie ihre Länge und Maſſe. Meiſtens bekommen derlei Nadeln die Geſtalt eines weit ſchmäleren Rhomboids und man unterſcheidet ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Geſtalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel und Kobalt, ja nach Lampadius ſogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den ſtählernen den Vorzug haben, daß ſie nicht ſo leicht roſten. — Dieſes wichtige Werkzeug zeigt dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden und iſt bei einem bewölkten Himmel ſein vorzüglichſter Führer, es dient dem Geometer, bei Meſſungen unter der Erde oder durch Wälder, zum Winkelmeſſer und Führer und leiſtet überhaupt die beſten Dienſte, wenn Gegenſtände, z. B. Sonnenuhren, Meßtiſche ꝛc. nach beſtimmten Richtungen geſtellt werden ſollen. In manchem Falle iſt eine Magnetnadel von Nutzen, welche ſich nur in der Ebene des magnetiſchen Äquators bewegen kann und darum aſtatiſch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt und bleibt in dieſer Ebene in jeder Richtung ſtehen, wenn ihr Schwerpunct in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine ſolche Nadel angegeben; Fig. 278 ſtellt ſie vor; Schmidt hat ſie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243). Man kann ſich aber auch eine Nadel verſchaffen, die

bei jeder Abweichung vom magnetiſchen Meridiane in Ruhe bleibt und deßhalb aſtatiſch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich ſtarke Magnetnadeln mit einander unveränderlich ſo verbindet, daß ihr ungleichnamigen Pole nach derſelben Gegend hin gerichtet ſind, wie Fig. 278 *a* und *b* zeigt.

Viertes Kapitel.

Geſetze der magnetiſchen Kräfte im Gleichgewichte.

288. Um eine der gegenwärtigen Entwicklung der Wiſſenſchaft angemeſſene Kenntniß des magnetiſchen Zuſtandes eines Körpers zu haben, iſt es nothwendig, daß man die Anordnung und Stärke des Magnetismus an verſchiedenen Puncten desſelben zu jeder Zeit anzugeben im Stande ſey. Zu dieſer Kenntniß gelangt man durch Unterſuchung der Größe der Einwirkung eines Magnetes oder einer beſtimmten Stelle desſelben auf einen anderen, deſſen magnetiſche Kraft als unveränderlich angeſehen werden kann. Als ſolchen kann man den Erdmagnetismus zu derſelben Tagszeit betrachten. Läßt man daher eine Magnetſtange an verſchiedenen Tagen nahe zu derſelben Stunde um eine verticale oder horizontale Axe oscilliren; ſo wird man aus der Anzahl der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Schwingungen oder aus der Zeit, die zu einer beſtimmten Anzahl derſelben verwendet wird, auf das Verhältniß ihrer magnetiſchen Kraft zu dieſer Zeit ſchließen können; ja auf dieſem Wege wird man ſogar in manchem Falle das Verhältniß der Kraft zweier Magnetſtäbe zu einander finden. — Iſt der Magnet, deſſen Kraft unter verſchiedenen Verhältniſſen unterſucht werden ſoll, vermöge ſeiner Geſtalt oder aus anderen Gründen nicht zum Oscilliren geeignet; ſo kann man auch dadurch zum Ziele gelangen, daß man ſeine Einwirkung auf die Schwingungen eines kleinern Hilfsmagnetes beobachtet, deſſen Coercitivkraft ſo groß iſt, daß ſein magnetiſcher Zuſtand durch die Nähe jenes Magnetes nicht modificirt wird. Man läßt nämlich dieſen Hilfsmagnet zuerſt unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus ſchwingen und zählt die Anzahl N der Schwingungen, welche er in einer beſtimmten Zeit macht, bringt dann unter ihm den zu

prüfenden Magnet ſo an, daß die Richtung ſeiner Einwirkung mit der des Erdmagnetismus parallel iſt und beobachtet die Anzahl N' ſeiner nun in derſelben Zeit vollbrachten Schwingungen wieder. Heißt die hier wirkende Kraft des Erdmagnetismus M, die des Hilfsmagnetes M'; ſo iſt offenbar

$$\frac{M+M'}{M}=\frac{N'^2}{N^2} \qquad (1)$$

Findet man, nachdem der zu prüfende Magnet eine Veränderung erlitten hat und die Kraft M' in M'' übergegangen iſt, daß die Zahl der Schwingungen des Hilfsmagnetes unter dem vereinten Einfluſſe des zu prüfenden Magnetes und des Erdmagnetismus $=N''$, unter dem bloßen Einfluß der Erde aber wieder N ſey; ſo haben

$$\frac{M+M''}{M}=\frac{N''^2}{N^2} \qquad (2)$$

mithin aus (1) und (2)

$$\frac{M'}{M''}=\frac{N'^2-N^2}{N''^2-N^2}$$

Wenn man zwei Magnete (oder einen Magnet in verſchiedenen Zuſtänden) nur im Allgemeinen mit einander vergleichen will, ſo darf man an ihre Pole nur ſo viel Eiſen anhängen, als getragen wird, und denjenigen Magnet für ſtärker halten, der mehr trägt.

289. Durch dieſe Mittel hat man mehrere merkwürdige Erfahrungen gemacht. Man hat ſich überzeugt, daß die Stärke der magnetiſchen Kraft nicht von der Geſtalt der Magnete abhänge, daß kleine Magnete in der Regel verhältnißmäßig ſtärker ſeyen als große, künſtliche ſtärker als natürliche, daß ein Magnet durch eine Erſchütterung, durch einen Stoß oder Schlag, ſo wie durch ſchnelles Wegnehmen der von ihm getragenen Laſt viel von ſeiner Kraft verliere, daß auch Oxydation dieſe Kraft ſchwäche und daß man ſie durch Ausglühen ganz vernichten könne, daß die Kraft eines Bündels magnetiſcher Stäbe kleiner ſey als die Summe der einzelnen Kräfte aller Stäbe. Hingegen wächſt die magnetiſche Kraft, wenn man ſie beſtändig durch angehängtes Eiſen beſchäftiget, vorzüglich aber durch das ſogenannte Armiren. Dieſes beſteht darin, daß man an den Puncten, in deren Nähe ſich die Pole befinden, Platten von weichem Eiſen, die in dicke Füße ausgehen, befeſtiget, wie dieſes Fig. 279 zeigt, wo A den Magnet, B und C die beiden Armaturen vorſtellt. An die Armatur legt man ein Eiſenſtäbchen an, welches eine Wagſchale trägt, in welche man die Ge-

wichte gibt, die den Magnet beſchäftigen. Wenn man einen künſtlichen Magnet, gleich nachdem man ihn magnetiſirt hat, unterſucht, ſo findet man ihn ſtets ſtärker, als einige Zeit darnach; jedoch nimmt dieſe ſeine Kraft nur bis zu einem beſtimmten Grade ab und beharrt unter denſelben äußeren Umſtänden unverändert bei demſelben. In dieſem ſtationären Zuſtande ſagt man, der Körper ſey mit magnetiſcher Kraft geſättiget. Aber ſelbſt ein im Zuſtande der Sättigung befindlicher Magnet erleidet eine Veränderung ſeiner Kraft, wenn er dem Sonnenlichte ausgeſetzt wird oder wenn ſich ſeine Temperatur ändert. Zantedeschi fand, daß die Einwirkung des Lichtes die magnetiſche Kraft erhöhe (Zeitſch. 7. 365). Schon Gilbert hat erfahren, daß die Kraft eines Magnetes abnimmt, wenn ſeine Temperatur erhöht wird, und Sauſſure hat, um dieſe Verminderung zu erkennen, ein beſonderes Inſtrument (Magnetometer) conſtruirt, bei welchem ein Eiſenpendel durch einen Magnet deſto mehr aus der Lage, wohin es die Schwere verſetzt, gebracht wird, je mehr er darauf wirkt. Viel ſchärfere Reſultate erhält man aber mittelſt der Schwingungsmethode, wie ſie Chriſtie, Hanſteen, Kupffer (*Ann. de Chim.* 30. 113) und neueſtens Rieß und Moſer (Pogg. Ann. 17. 403) zu dieſem Behufe angewendet haben. Die Unterſuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf Magnete das meiſte Licht verbreitet und zu folgenden Reſultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterſcheiden, die eine iſt bleibend, wenn auch die Temperatur, von der ſie hervorgebracht wurde, vorübergegangen iſt, die andere verſchwindet mit der ſie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erſtere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden iſt und iſt daher im Eiſen anders als im Stahl, im weichen Stahle anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an und iſt von der Natur des Magnetes unabhängig, jene läßt ſich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen man ſie berechnet. Wird ein Magnetſtäbchen aus weichem Stahl in heißes Waſſer getaucht, nach dem Abkühlen unterſucht, dann wieder eingetaucht und dieſes Verfahren hinter einander öfter wiederholt; ſo findet man ſeine magnetiſche Kraft nach jedem Eintauchen ſchwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weiſe eine Änderung ſeiner Natur erlitten hat, aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits

den Verſuch vorgenommen hat und zuletzt benimmt ihm ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zuſtande beſitzt. Magnetiſirt man einen ſolchen Körper abermals, bis er ſeine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, ſo wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten ſich ganz anders, ſie verlieren durch Erhitzen mehr, als weiche, haben aber nach dem vollſtändigen Erkalten eine ſtärkere Kraft als während des Erkaltens und verlieren, wenn man ſie mehrmal magnetiſirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis ſie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem, magnetiſirten Eiſen gibt es überhaupt keine ſolche bleibende Einwirkung der Wärme. Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt ſich für cylindriſche 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\ (1 - 0.000461)\ (t' - t)\ d$, für Nadeln von 34 L. und etwas darüber nach der Formel $J' = J(1 - 0.000324)$ $(t' - t)\ d$ berechnen, wo J' und J die Intenſitäten des Magnetismus für die Temperaturen t' und $t°R.$ und d den Durchmeſſer der Nadel in Par. L. bezeichnen.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1—2 Pfund kaum das Zehnfache desſelben. Cavallo ſah einen Magnet, der 7 Gran wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet ſich im Taylor'ſchen Muſeum; er wiegt ſammt der Armatur 307 Pf. und trägt 230 Pf. Ein großer Magnet des hieſigen Muſeums wiegt ohne ſeine hölzerne Faſſung $1^1/_2$ Pf. und trägt 12 Pf. Bei Kupffer's Verſuchen hatte ein Magnetſtab, der von 13° auf 80° *R.* erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0.85 der vorigen Kraft, aber ſelbſt als er wieder auf 13° *R.* abgekühlt war, betrug ſeine Stärke nur 0.94 der urſprünglichen. — Soll ein Magnet ſeine Kraft möglichſt unverändert beibehalten, ſo muß man ihn aus glasharten Stahle verfertigen, nach dem Magnetiſiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Waſſer tauchen, ihn möglichſt vor jeder Erſchütterung ſichern und das Oxydiren desſelben verhüthen. Letzteres ſoll dadurch am leichteſten geſchehen, daß man ihn im Kalkwaſſer liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwaſſer oder in eine wäſſerige Glauberſalzlöſung getaucht und hierauf gut getrocknet worden iſt.

290. Außer der Stärke der geſammten Kräfte eines Magnetes iſt noch die **Vertheilung** derſelben im ganzen Körper von Wichtigkeit. Dieſe kann man wieder durch Schwingungsverſuche kennen lernen. Stellt man den zu prüfenden Magnet in verticaler Lage vor oder hinter einen ſehr harten und kleinen magnetiſchen Cylinder, der an einem biegſamen Faden hängt ſo, daß dieſer durch jenen nicht aus dem magnetiſchen Meridiane gebracht wird und zählt die Anzahl der Schwingungen, welche er in einer beſtimmten Zeit macht, nimmt dann denſelben Verſuch wieder vor, nachdem man den Cylinder erhöht oder geſenkt und ihm dadurch einem anderen Querſchnitte des zu prüfenden Magnetes gegenüber geſtellt hat; ſo kann man aus dieſen Schwingungszahlen und aus denjenigen, die der Cylinder gibt, wenn er blos vermöge des Erdmagnetismus oscillirt, das Verhältniß der magnetiſchen Kräfte in verſchiedenen Querſchnitten leicht mittelſt der in 288 entwickelten Formel finden. Man darf aber dabei nicht überſehen, daß man dem Nordpole des oscillirenden Magnetes ſtets die Südhälfte des zu prüfenden und dem Südpole jenes die Nordhälfte dieſes gegenüberſtellen müſſe. Zu demſelben Ziele gelangt man kürzer mittelſt der magnetiſchen **Drehwage** (Fig. 279). Dieſe beſteht aus einem prismatiſchen oder cylindriſchen, horizontal ſchwebenden Magnete *A*, der mittelſt eines ſehr feinen elaſtiſchen Drahtes *B* in einem Glaskaſten aufgehängt iſt. Dieſer Kaſten hat in der Höhe, in welcher ſich die Axe des Magnetes befindet, entweder, falls er cylindriſch iſt, eine Kreistheilung, oder wenn er (wie in der Zeichnung) prismatiſch iſt, eine dieſelbe vertretende Chordenſcale *C*, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes meſſen kann. Der Draht iſt Unten durch ein Gewicht *D* in Spannung erhalten und Oben am Deckel eines cylindriſchen röhrenförmigen Auſſatzes *E* ſo befeſtiget, daß man ihn heben und ſenken, aber auch drehen und zugleich den Drehungswinkel an einer beſonderen Kreistheilung abnehmen kann. Soll dieſes Inſtrument zu obigem Zwecke gebraucht werden, ſo läßt man die Magnetnadel im magnetiſchen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torſion erleidet, bringt dann ihm zur Seite den zu unterſuchenden Magnet in verticaler Stellung ſo an, daß er ihm ſeine feindliche Polhälfte zuwendet. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Dieſe bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine beſtimmte Größe, z. B. auf 4°, hebt oder ſenkt dann den ſchwebenden Magnet, damit er einem anderen Querſchnitte des

verticalen Magnetes gegenüber zu ſtehen komme und bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel wieder auf die vorige Größe und nimmt denſelben Verſuch für jeden zu prüfenden Querſchnitt des verticalen Magnetes vor. Um nun aus dieſen Daten die geſuchten Größen zu finden, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieſes Verſuches auf die Magnetnadel wirken. Dieſe wird durch den Erdmagnetismus im magnetiſchen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der ſie abſtößt, ſo tritt ſie aus dem Meridiane und wird in dieſer neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elaſticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel, ſo vermehrt man dadurch jede der drei Kräfte und es hält nun das Beſtreben des Magnetes, vermög des Erdmagnetismus in den magnetiſchen Meridian zurückzukehren, vermehrt um das Beſtreben des Drahtes ſich aufzuwickeln, den abſtoßenden Kräften des Magnetes das Gleichgewicht. Da müſſen nun vorerſt die erſteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Reſultirende finden könne. Dieſes geſchieht, indem man zu erfahren ſucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zuſtande gedreht werden müſſe, damit ſein Beſtreben ſich aufzudrehen, dem Beſtreben des ſchwebenden Magnetes, aus einem beſtimmten Abſtoßungswinkel (in unſerem Falle 4°) in den magnetiſchen Meridian vermög des Erdmagnetismus zurückzukehren, das Gleichgewicht halte. Dieſes geſchieht leicht, indem man, wenn der Magnet der Wage ſich ſelbſt überlaſſen iſt und daher im magnetiſchen Meridiane ſteht, den Draht ſo ſtark dreht, bis die beabſichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man dieſe Größe, ſo iſt es leicht einzuſehen, daß der gefundene Torſionswinkel vermehrt um den Abſtoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torſion der abſtoßenden Kraft der Magnete proportionirt ſey.

Geſetzt man habe gefunden, daß eine Torſion des Drahtes von 340° den Magnet um 4° aus dem Meridiane bleibend verrücke und daß um dieſe Ablenkung während der Einwirkung einer Stelle eines anderen Magnetes hervorzubringen, die Torſion des Drahtes 420°, während der Einwirknng einer anderen Stelle desſelben Magnetes aber 560° betragen müſſe. In dieſem Falle verhalten ſich die Kräfte dieſer Stellen wie die Zahlen 340 + 4 + 420 : 340 + 4 + 560 = 764 : 904 oder nahe wie 10 : 12.

291. Wir verdanken vorzüglich Coulomb und in der neueſten Zeit Kupffer die genaue Unterſuchung der Vertheilung der magnetiſchen Kraft in verſchiedenen Magneten und der Lage ihrer indifferenten Stelle und ihrer Pole. Coulomb hat an langen und verhältnißmäßig dünnen, cylindriſchen und prismatiſchen Stäben die jedem Querſchnitte entſprechende Kraft geſucht und gefunden, daß ſie nahe in der Mitte gleich Null ſey und von da zu beiden Seiten bis zu den Endpuncten ſehr ſchnell wachſe, ſo daß, wenn man die betreffende Entfernung von der Mitte des Stabes als Abſciſſe, die ihr entſprechende Kraft als Ordinate verzeichnet, die durch ihre Endpuncte geführte Curve, welche gleichſam die Vertheilung des Magnetismus vorſtellt, gegen die Endpuncte des Stabes zu ſehr ſchnell ſteigt. Für Stäbe von verſchiedener Länge, deren Dicke aber nur $\frac{1}{6}$—$\frac{1}{8}$ dieſer Länge beträgt, gilt dieſelbe Curve, mithin auch dasſelbe Geſetz der Kraftvertheilung. — Die Zunahme der Kraft jedes Magnetpoles gegen ſein Ende iſt eine natürliche Folge der Wirkung der magnetiſchen Elemente auf einander. Man denke ſich eine Reihe ſolcher Elemente A, B', C, D ꝛc. (Fig. 280), deren Nordpole a, a', a'', a''' ꝛc., deren Südpole b, b', b'', b''' ꝛc. ſind und betrachte die Wirkung, welche auf jedes einzelne Element von den übrigen ausgeübet wird. Der Pol b des Elementes A wird von den Polen a', a'', a''' ꝛc. angezogen und von den Polen b', b'', b''' ꝛc. abgeſtoßen, weil aber die erſteren näher an a liegen als die letzteren, ſo bekommt die anziehende Kraft das Übergewicht und durch dieſe wird ein Theil der Kraft von b gebunden und eben dadurch noch mehr Kraft in a frei. Es hat demnach in A die Kraft des Poles a das Übergewicht. Auf das Element B wirken die Elemente C, D ꝛc. ebenſo, wie auf A, und auch hier wird die Kraft des Poles a' die vorwaltende, aber weil A auf B eine gleiche aber entgegengeſetzte Wirkung ausübt wie C, ſo wird die vorwaltende Kraft des Poles a' kleiner als die des Poles a u. ſ. f. Ein von anderen Elementen ſymmetriſch umgebenes Element kann keine Kraft äußern und an den auf der entgegengeſetzten Seite liegenden Elementen wird die vorwaltende Kraft die der Pole b''', b'', b', b ꝛc. ſeyn. Da die mathematiſchen Pole eines Magnetes die Mittelpuncte der Kräfte jedes phyſiſchen Poles ſind, ſo müßten ſie wegen des ſchnellen Zunehmens der Kraft nach Außen nahe an den Enden des Magnetſtabes liegen.

292. Durch die bereits erklärten Mittel kann man auch die

Angriffspuncte der Reſultirenden zweier aufeinander wirkender Magnete beſtimmen, ſo wie den Ort ihrer indifferenten Stelle. Beide hängen von der Stärke der Magnete, von ihrer gegenſeitigen Stellung, Temperatur und Geſtalt ab. Befinden ſich die Axen zweier Magnete in derſelben horizontalen Linie, ſo liegt der Angriffspunct der Kräfte außerhalb ihrer Maſſe, wenn ſie bis zur Sättigung magnetiſirt ſind, oder innerhalb derſelben, wenn ſie nur ſchwache Kräfte beſitzen. Ein bis zur Sättigung magnetiſirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte und den Angriffspunct der Reſultirenden außer ſeinen Grenzen; wird das Ende zugeſpitzt, ſo rückt der Indifferenzpunct der Spitze näher und die Entfernung jenes Angriffspunctes vom Ende des Stabes vermindert ſich, wird bei noch ſchärferer Zuſpitzung gleich Null und fällt endlich gar in die Maſſe des Magnetes. Bei einer Erhöhung der Temperatur rückt der Mittelpunct der Kräfte dem Mittelpuncte der Stange immer näher. Etwas Ähnliches geht vor, wenn eine Eiſenſtange erwärmt wird, die blos vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur einen Pol eines Magnetes, ſo entfernt ſich der Indifferenzpunct vom erwärmten Ende, erkältet man ihn, ſo rückt dieſer Punct näher an den Pol. Letzteres erfährt man am leichteſten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwiſchen zwei in derſelben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung ſenkrechte Magnetſtangen ſo anbringt, daß die Nadel nicht aus dem magnetiſchen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpuncte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun ein Pol einer der zwei Stangen erwärmt, ſo wird die Magnetnadel alſogleich abgelenkt zum Beweiſe, daß der Indifferenzpunct verrückt worden iſt. Die Richtung dieſer Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunctes an.

Bei einem Verſuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetiſchen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlſtabe angeſtellt hat, ergab ſich, daß die Größe dieſer Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derſelbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieſer Stange 18 L. von jedem Ende entfernt waren; an rautenförmigen langen Magnetſtäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei ſehr kurzen Magneten befinden ſich die Pole um $\frac{1}{6}$ der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen ſie nicht immer in einem Durchmeſſer. Bei pfeilartigen Magneten gibt es

ſelten conſtante Pole. Man kann den Ort der Pole recht leicht mittelſt eines kurzen weichen, in einer Glaskugel befindlichen Drahtſtückes finden, das man auf einem horizontal liegenden Magnete von der Mitte aus gegen das Ende hinführt; denn an der Stelle eines Poles ſteht dieſes vertical, an jeder anderen Stelle ſchief oder gar horizontal.

293. Die Einwirkung zweier Magnete auf einander ſteht bei gleicher Entfernung derſelben von einander im geraden Verhältniſſe ihrer magnetiſchen Kräfte. Bei ungleichen Entfernungen iſt dieſe Einwirkung unter übrigens gleichen Umſtänden deſto kleiner, je größer dieſe Entfernung iſt. Es iſt als ausgemacht anzuſehen, daß ihre Einwirkung wächſt, ſo wie das Quadrat ihrer Entfernung abnimmt. Dieſes Geſetz hat ſchon im Jahre 1781 Della Bella bewieſen, Coulomb hat daſſelbe, ohne jene Arbeit zu kennen, mittelſt ſeiner Drehwage und durch Schwingungsverſuche gefunden. Es wurde zu dieſem Ende an die Seite des horizontal ſchwebenden Magnetes der Drehwage ein verticaler Magnet geſtellt, der jenen abſtieß. Bei einem Verſuche betrug der Abſtoßungswinkel 24°, wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Verſuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torſion von $24 \times 35° = 840°$ um 24° und durch eine Torſion von $17 \times 35° = 595°$ um 17°. Es verhielt ſich alſo dieſe ablenkende Kraft beim Abſtoßungswinkel 24° zu der beim Abſtoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie $1 : 2$, während ſich die Quadrate der Abſtände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$ oder faſt wie $2 : 1$ verhielten. Etwas Ähnliches findet man für die magnetiſche Anziehung. Bei einem Oscillationsverſuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derſelben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnetes in der Ebene des magnetiſchen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüberhielt, und endlich 41, als dieſe Entfernung nur 4 Z. betrug. Hier verhalten ſich die Entfernungen wie $2 : 1$ und die anziehende Kraft des Magnetes wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$ d. i. nahe wie $1 : 4$.

294. Ein Magnet ſucht in jedem Körper, in deſſen Nähe er kommt, die beiden Beſtandtheile des magnetiſchen Princips von

einander zu trennen und ihn ſelbſt zu einem Magnet zu machen, aber der Erfolg dieſes Beſtrebens iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines ſolchen Körpers iſt. Darum ſind Verſuche über die Einwirkung verſchiedener Körper auf die Richtung eines frei ſchwebenden Magnetes oder über die Einwirkung eines Magnetes auf einen anderen frei ſchwebenden Körper beſonders geeignet, uns über die Größe der Coercitivkraft in verſchiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umſtände auf dieſelbe Aufſchluß zu geben. Wenn man eiſerne Stäbe nach einander in eine gewiſſe Lage und Entfernung gegen eine ſehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche ſie durch jeden einzelnen erleidet; ſo erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieſer Stäbe. Barlow fand auf dieſem Wege, daß Stäbe von verſchiedener Härte in der Richtung der magnetiſchen Neigung auch verſchieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach ſeinen Verſuchen iſt die Einwirkung des Schmiedeiſens am größten, hierauf folgt weicher Gußſtahl, dann weicher Brennſtahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derſelbe gehärtet, und zuletzt Gußeiſen. Es hat daher Schmiedeiſen die kleinſte, Gußeiſen die größte Coercitivkraft und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwiſchen beiden. Die Coercitivkraft iſt in demſelben Eiſen bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, beſonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eiſen hufeiſenförmig, ſo kann man zwiſchen die zwei Arme desſelben, die *A* und *B* heißen mögen, einen Pol eines Magnetes ſo ſtellen, daß er durch das Eiſen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme desſelben gleich ſtark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eiſen in der Nähe von *B* bis zum Weißglühen, ſo wird der Magnet von *A* angezogen, thut man dasſelbe in der Nähe von *A*, ſo zieht *B* den Magnet an. Erhitzt man z. B. *B* bis zum Weißglühen und hält an den hinteren Theil des Hufeiſens einen Pol eines ſtarken Magnetes, ſo erhält das kalte Ende *A* einen ſtärkeren Magnetismus als *B*, ſobald aber beim Auskühlen die Temperatur von *B* zur Rothglühhitze herabgeſunken iſt, hat *B* die größere Kraft. (Barlow in Gilb. Annalen 73. 229. Ritchie in Pogg. Annalen 14. 150.) Hieraus kann man ſchließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eiſens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältigt werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin daß die Weißglühhitze die Coercitivkraft ſteigere, die Rothglühhitze

ſie hingegen ſchwäche. Barlow's Behauptung, daß die Einwirkung eines Magnetes auf Eiſen, das gerade zwiſchen der Dunkel- und Hellrothglühhitze ſich befindet, die entgegengeſetzte von der ſey, die bei kaltem Eiſen Statt findet, iſt unrichtig. Merkwürdig iſt es, daß ein Stäbchen aus weichem Eiſen, deſſen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwiſchen deren entgegengeſetzten Polen es ſich befindet, nicht überwältiget und welches daher durch ſie nicht magnetiſch wird, alſogleich als Magnet erſcheint, wenn es in dieſer Lage durch einen harten Körper wie durch Meſſing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach gerieben wird. Nach Coulomb gibt es keine Subſtanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich iſt, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen von ihm afficirt wird; denn kleine frei ſchwebende Nadeln von was immer für einem organiſchen oder unorganiſchen Stoffe nehmen eine beſtimmte Stellung an, wenn man ſie zwiſchen die entgegengeſetzten Pole ſtarker Magnete bringt, und ſetzt man ſie in Schwingungen, ſo werden ſie auffallend durch die Magnete beſchleunigt. Merkwürdig iſt es, daß alle Legirungen, die Eiſen enthalten, ja reines Eiſen ſelbſt, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchſtücken beſteht, zwiſchen den Polen ſtarker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längenaxen mit der Axe der Magnete einen Winkel einſchließen, welches beweiſet, daß ſie ſelbſt magnetiſch geworden ſind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transverſal) liegen. (Seebeck in Pogg. Annalen 10. 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

295. Körper, deren Coercitivkraft gering iſt, werden ſchon durch den Erdmagnetismus in einen magnetiſchen Zuſtand verſetzt, ſobald ſie eine dazu paſſende Lage haben, und dieſes iſt der Fall, wenn ſie ſich außer dem magnetiſchen Äquator befinden (270). Eine vertical ſtehende weiche Eiſenſtange hat immer Unten einen Nordpol, Oben einen Südpol, ja nach Hanſteen iſt dieſes mit jedem vertical ſtehenden Körper, ſogar mit Bäumen, Mauern &c. der Fall. In einer Maſſe aus weichem Eiſen oder Stahl bringt das Vorhandenſeyn der abſichtlich durch Magnetiſiren und der durch die Erde erzeugten magnetiſchen Kraft merkwürdige Erſcheinungen hervor. Hat ein ſolcher Körper die Geſtalt eines Stabes, ſo iſt in einer verticalen Stellung deſſelben ſein Magnetismus ſtets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt iſt, als wenn er aufwärts gerichtet iſt, weil im erſten Falle die vom Erdmagnetismus erregten

Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künſtlich erzeugten zuſammenfallen. Beſonders auffallend iſt das Verhalten regulärer, z. B. ſphäriſcher oder kubiſcher, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerſt Barlow (Gilb. Ann. 73. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher unterſucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel gewiſſe Kreiſe, in welchen ſie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während ſie in anderen Stellungen bald anziehend, bald abſtoßend wirkt. Dasſelbe findet mit Würfeln Statt. Iſt z. B. *S N* (Fig. 281) eine horizontal ſchwebende Magnetnadel, *c* ihr Mittelpunct, *I*, *II*, *III* eine ſtörende Eiſenmaſſe in drei verſchiedenen Lagen, wovon *I* ſo ſteht, daß der durch den Mittelpunct der Magnetnadel *c* gehende magnetiſche Äquator *cd* auch den Mittelpunct der Eiſenmaſſe trifft. In jeder der drei Lagen iſt die Eiſenmaſſe durch den Erdmagnetismus in zwei magnetiſche Hälften getheilt, *s* ihr Südpol, *n* ihr Nordpol, während *N* der Nordpol und *S* der Südvol der Magnetnadel iſt. *s* wirkt auf *N* anziehend und auf *S* abſtoßend, *n* hingegen auf *N* abſtoßend und auf *S* anziehend. Die Pole *n* und *s* wirken auf *N* ſtärker als auf *S* und beide Wirkungen erfolgen zuſammen eben ſo, als wenn *N* und *S* in *c* vereinigt wären. Deßhalb müſſen *n* und *s* in *I* auf *c* gleich ſtark, aber entgegengeſetzt wirken und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in *II* der Pol *n* und in *III* der Pol *s* vorherrſchend auf *c* wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgeſtoßen, hier angezogen wird. Dieſem gemäß ſind leicht zwei Eiſenmaſſen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengeſetzte Einflüſſe ausüben und ſie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird ſich vorſtellen können, wie die Wirkung einer Eiſenmaſſe auf einen Magnet durch Zugabe einer anderen Eiſenmaſſe, die eine beſtimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne. Von dieſer Art iſt die ſogenannte neutraliſirende Platte, welche Barlow auf Schiffen anbringt, um durch ſie den Einfluß des Eiſens auf den Compaß bei jeder Ortsveränderung des Schiffes aufzuheben.

Fünftes Kapitel.

Geſetze des Magnetismus in Bewegung.

296. Arago machte in Jahre 1825 die Entdeckung, daß der Schwingungsbogen einer in horizontaler Ebene oscillirenden Magnetnadel durch eine nahe darunter befindliche Kupferſcheibe ſo ſchnell vermindert werde, daß die Nadel viel ſchneller zur Ruhe kommt, als ohne den Einfluß einer ſolchen Scheibe; dabei bleibt aber die Dauer einer Schwingung unverändert. Er vermuthete anfangs, dieſe Einwirkung rühre von einem Eiſengehalte der Kupferſcheibe her, allein als die chemiſche Analyſe nur ſo wenig davon nachwies, daß man daraus dieſe Wirkung nicht herleiten konnte und andere Verſuche mit unmagnetiſchen Körpern, die durch Torſion eines Fadens über einer Kupferſcheibe in Schwingungen verſetzt wurden, gezeigt hatten, daß auf ſie das Kupfer keinen Einfluß ausübe und daß das Phänomen beſtimmt magnetiſcher Natur ſey; ſo blieb nichts übrig als dem Kupfer magnetiſche Kräfte zuzuſchreiben. Um dieſe näher kennen zu lernen, kehrte Arago den Verſuch um, ſetzte eine Kupferſcheibe unter einer Magnetnadel in rotirende Bewegung und beobachtete ihren Einfluß auf den Magnet. Die Erfahrung lehrte, daß bei einer mäßigen Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe der Magnet nach der Richtung der Rotation abgelenkt werde und unter einem gewiſſen Ablenkungswinkel verharre, ſo lange die Geſchwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt, daß dieſe Ablenkung deſto größer werde, je ſchneller man die Scheibe dreht und daß endlich der Magnet ſelbſt zu rotiren anfange. Man kann demnach die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels oder durch die Zeit einer Rotation des Magnetes meſſen. So wie eine rotirende Kupferſcheibe einen Magnet ablenkt und ſogar in eine rotirende Bewegung verſetzt, eben ſo wird durch einen ſchnell rotirenden hufeiſenförmigen Magnet eine ober ſeinen Polen frei ſchwebende Kupferſcheibe in drehende Bewegung verſetzt. Eine Kupferſcheibe, deren Schwerpunct außer ihrer Axe liegt und die um denſelben oscillirt, kommt eher in Ruhe, wenn ſie über einem Magnete ſchwingt, als wenn dieſes nicht der Fall iſt.

Chriſtie hat zuerſt bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oscillirenden Magnetnadel ſo wie eine nahe Kupferſcheibe vermindere, und dieſes einem magnetiſchen Einfluſſe des Lichtes zugeſchrieben. Allein dieſe Wirkung iſt nicht magnetiſcher Natur und wird höchſt wahrſcheinlich blos durch auſſteigende Luftſtröme bewirkt. (Zeitſch. 3. 96 u. 157; 6. 325.)

297. Es iſt klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kupferſcheibe von einer Kraft herrühren müſſe, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Dieſe iſt aber nicht die einzige, welche von einer ſolchen Scheibe ausgeht; ſondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe ſenkrecht ſteht, die andere mit derſelben parallel iſt. Die erſtere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abſtoßend und zeigt ſich, wenn man einen Magnetſtab vertical an eine Wage hängt, ihn daſelbſt ins Gleichgewicht ſetzt und unter ihm eine Kupferſcheibe rotiren läßt; denn da wird alſogleich das Gleichgewicht geſtört und die Seite, wo der Magnet aufgehängt iſt, erſcheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb desſelben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewiſſen Kreis hinaus, wo ſie gleich Null iſt, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man ſich mittelſt einer Inclinationsnadel. Stellt man dieſe ſo über die Scheibe, daß ſie eine verticale Richtung annimmt, ſetzt dann die Scheibe in Bewegung; ſo wird ſie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichſam vom Centrum abgeſtoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical und noch weiter einwärts wird ſie endlich vom Centrum gleichſam angezogen. Das Verhältniß dieſer drei Kräfte zu einander ändert ſich mit der Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe.

298. Die Geſchwindigkeit der Rotation iſt nicht das Einzige, wovon die Einwirkung auf den Magnet abhängt, es hat darauf noch viel Anderes Einfluß. Ein ſtarker Magnet wird durch dieſelbe Scheibe ſtärker abgelenkt, als ein ſchwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung iſt ein gewiſſes Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferſcheibe nothwendig. Ein ſehr kleiner Magnet wird durch eine ſehr große Scheibe ſo wenig afficirt, als ein großer Magnet durch eine ſehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt iſt, deſto geringer iſt ihre Ein=

wirkung, ſie nimmt aber in einem größeren Verhältniſſe ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächſt. — Körper, die zwiſchen den Magnet und die Kupferſcheibe gebracht werden, ſchwächen die Wirkung, wenn ſie ſelbſt eine ſolche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eiſenplatte hebt dieſe Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. laſſen ſie ungeſchwächt durch. Vorzüglich ſchwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmaſſe. Eine ſternförmig ausgeſchnittene Kupferſcheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine maſſive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt ſehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zuſammenlöthet. Ein ſpiralförmig gewundener Draht wirkt ſchwächer, als eine Scheibe von demſelben Durchmeſſer und von derſelben Maſſe. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich ſchwächer, als in einer zuſammenhängenden Maſſe. Eine hart gehämmerte Platte wirkt ſtärker als eine ausgeglühte, doch ſoll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieſelben Geſetze zeigen ſich in Betreff des Einfluſſes einer Kupferplatte auf eine oscillirende Magnetnadel.

Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verminderte ſich in der Nähe einer 2 L. dicken Kupferſcheibe nach 7, in der Nähe einer 0.8 L. dicken nach 11 Schwingungen um eben ſo viel. Eine Platte, die den Ausſchlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte dasſelbe erſt nach 10 Schw., wenn ſie entzweigeſchnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, deſſen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schw. von 20° auf 10° herabſank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelſt eines elaſtiſchen Fadens ſeine Oscillationen beſchleuniget wurden. — Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu ſchätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit rotirt, um einen gewiſſen Winkel abzulenken.

299. Kupfer iſt nicht der einzige Körper, der beim Rotiren einen Magnet afficirt, auf ähnliche Weiſe verhält ſich auch Zink, Meſſing, Zinn, Blei, Queckſilber ꝛc., ja auf einen oscillirenden Magnet übt jeder Körper wie z. B. Glas, Waſſer, Holz ꝛc. einen magnetiſchen Einfluß aus. Es zeigt aber nicht jeder unter denſelben

Umſtänden einen gleichen Einfluß. Setzt man die Kraft des Kupfers = 100, ſo wird die Kraft folgender Metalle durch die ihnen beigeſetzten Zahlen ausgedrückt: Zink 93, Zinn 46, Blei 25, Antimon 9, Wismuth 2. Daß die Kraft des Eiſens beſonders ſtark ſeyn muß, iſt für ſich klar. Barlow hat auch, ohne von Arago's Verſuchen etwas zu wiſſen, mit eiſernen Kugeln Rotationsverſuche gemacht und die Ablenkung eines Magnetes, der durch die ruhende Kugel nicht afficirt wurde, beobachtet. Merkwürdig iſt es, daß es Legirungen von zwei einzeln ſtark auf einen Magnet wirkenden Metallen gibt, deren Wirkung ſehr ſchwach iſt. Von der Art fand Seebeck die Legirungen von 4 Th. Antimon und 1 Th. Eiſen; 3 Th. Antimon und 1 Th. Kupfer; 3 Th. Kupfer und 1 Th. Wismuth. Eine Legirung von 2 Th. Kupfer und 1 Th. Nickel wirkt gar nicht auf einen Magnet.

300. Dieſe Erſcheinungen laſſen ſich, wie die in den vorhergehenden Kapiteln erörterten, aus der Annahme der zwei magnetiſchen Fluida erklären. Nähert man einen Magnet einem Stoffe, deſſen Coercitivkraft dadurch überwältigt wird, ſo beginnt die Zerſetzung der zwei neutraliſirten Fluida und dauert ſo lange, bis die frei gewordene magnetiſche Flüſſigkeit der äußeren Kraft das Gleichgewicht hält. Hat dieſe Kraft eine beſtändige Richtung und Größe, ſo wird dieſes Gleichgewicht auch immer eintreten, ändert aber der Magnet ſeine Lage gegen die Elemente des Körpers, auf deſſen magnetiſches Princip er wirkt, ſo wird auch jenes Gleichgewicht nicht Statt finden können, ſondern es werden ſich die beiden magnetiſchen Flüſſigkeiten in jedem Elemente mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit bewegen und ſo kann es kommen, daß die Trennung einer kleinen Menge des magnetiſchen Principes unter dem Einfluſſe veränderlicher Kräfte eine größere Wirkung äußert, als eine viel bedeutendere Menge deſſelben unter dem Einfluſſe conſtanter Kräfte; doch iſt die genaue Erörterung dieſer Theorie ohne tiefe Rechnungen nicht möglich. (Alles, was über dieſen Gegenſtand gearbeitet wurde, findet man in Zeitſch. 1. 129; 2. 321 und 419; 4. 90. Pogg. Ann. 7. 203; 14. 598. auch in Schweigg. J. 46. 167 findet man die meiſten Arbeiten hierüber zuſammengeſtellt.)

301. Ungeachtet aller unſerer Kenntniſſe über die Wirkungsweiſe des magnetiſchen Princips iſt uns daſſelbe doch ſeiner Natur nach noch ganz und gar unbekannt. Es wirkt unmittelbar auf keinen unſerer Sinne, und es iſt keine anderweitige Wirkung deſſelben erwieſen, denn

die chemiſchen Proceſſe, welche durch Beiſtand des Magnetismus erzeugt worden ſeyn ſollen (Pogg. Ann. 13. 631. Schweigg. J. 56. 24. Zeitſch. 7. 92), ſind noch keineswegs hinreichend beſtätigt. Es bleibt uns daher für die Annahme einer eigenen magnetiſchen Flüſſigkeit kein anderer Grund als der, daß ſich dadurch die magnetiſchen Phänomene unſerem Verſtande zuſammenhängend darſtellen laſſen. (Über Magnetismus ſiehe außer den ſchon angeführten Werken: *P. v. Musschenbroek dissert. da magnete.* Tob. Cavallo Abhandl. der Lehre vom Magnete. Leipzig 1773. Ausführlich handelt darüber der Supplementband. S. 712—771.)

Vierter Abſchnitt.

Electricität.

Erſtes Kapitel.

Electriſche Erſcheinungen und Quellen der Electricität überhaupt.

302. Gleichwie Eiſen durch eine gewiſſe Behandlungsweiſe die Kraft erlangt, anderes Eiſen anzuziehen, ſo kann jeder Körper die Kraft erhalten, andere kleine Körperchen ſchon von einiger Entfernung her anzuziehen und ſie, ſobald er ſie berührt hat, wieder abzuſtoßen, oft auch einen Lichtſchein und einen Geruch um ſich zu verbreiten, wie langſam verbrennender Phosphor, und ſelbſt, wenn man ihn dem Geſichte nähert, eine Empfindung hervorzubringen, als wäre man in ein Spinnengewebe gerathen. In dieſem Zuſtande heißt der Körper electriſch und die ſich ſo äußernde Kraft führt den Namen Electricität. Am leichteſten wird man dieſe Phänomene hervorbringen, wenn man eine Glas- oder Harzſtange mit einem wollenen Lappen reibt und derſelben kleine Papierſchnitzchen nahe bringt. Zuerſt hat man ſie am Bernſtein *(electrum)* hervorgebracht und ihr darum obigen Namen gegeben.

303. Nicht immer ſind an einem electriſchen Körper alle genannten Phänomene wahrnehmbar, die meiſten derſelben zeigen ſich nur, wenn die Electricität eine ziemlich bedeutende Stärke erlangt hat; die Anziehung und die darauf folgende Abſtoßung begleiten aber die Electricität immer und darum kann man aus dem Stattfinden derſelben mit der meiſten Sicherheit auf die Gegenwart der Electricität ſchließen. Um ſie leicht zu erkennen, braucht man eigene Inſtrumente, die man Electroſcope, oft auch unrichtiger Weiſe Electrometer nennt. Ein ſolches ſehr brauchbares Inſtrument erhält man, wenn man ein Metallſtängelchen wie eine Magnetnadel mittelſt eines gläſernen Hütchens auf eine feine verticale Spitze ſtellt, ſo daß es ſich frei in einer horizontalen Ebene

bewegen kann, wie Fig. 282 zeigt. Nähert man dieſem einen, wenn auch nur ſehr ſchwach electriſirten Körper, ſo wird ein Arm desſelben alſogleich angezogen und, wenn er jenen Körper berührt hat, wieder abgeſtoßen.

304. Wenn man einen electriſirten Körper, wie z. B. eine geriebene Glasſtange, mit einem anderen berührt, ſo wird dieſem Electricität mitgetheilt, und er zeigt ſich nach der Berührung auch electriſch, jedoch verhalten ſich dabei die Körper auf zwei verſchiedene Arten: Iſt der Körper, welchem Electricität mitgetheilt wird, ein Metall, das man an einem gläſernen Handgriffe hält; ſo zeigt es ſich nach der Berührung allenthalben electriſch, wenn die Berührung auch nur an einem Puncte geſchah; es verliert die Electricität aber wieder, wenn man es auch nur an einem Puncte mit einem Finger berührt. Ganz anders verhält ſich in dieſer Hinſicht Glas. Wird es mit einem electriſchen Körper berührt, ſo nimmt es die Electricität nur am Berührungspuncte oder höchſtens noch in einer geringen Entfernung davon an und verliert ſie auch nur an der berührten Stelle, wenn man es etwa mit der Hand anrührt. So wie ſich hier die Metalle und Glas verhalten, eben ſo verhalten ſich faſt alle anderen Körper. Man nennt alle, die ſich wie das erwähnte Metallſtück verhalten, gute Leiter der Electricität, jene hingegen, die dem Glasſtücke in ihrem Verhalten ähnlich ſind, ſchlechte Leiter. Indeſſen laſſen ſich nicht alle vorhandene Körper in dieſe zwei Claſſen bringen; denn der Übergang von einer in die andere geſchieht nur allmälig ſo, daß einige Körper nicht zu den ſchlechten und nicht zu den guten Leitern gezählt werden können. Dieſe heißt man Halbleiter. Es hängt aber die Leitungsfähigkeit der Körper für die Electricität von der Intenſität der Electricität und von anderen Umſtänden ab. Zu den guten Leitern gehören: Alle Metalle, gut gebrannte Kohle, Erze, lebende Vegetabilien und Thiere, feuchte Erde, die meiſten Salze, wäſſerige Flüſſigkeiten und Dünſte, concentrirte Säuren ꝛc. Schlechte Leiter (Iſolatoren) ſind: Alle Harze, Glas, Seide, Haare und Federn, alle durchſichtigen Edelſteine, trockene Metalloxyde, trockene Gaſe, durch Druck tropfbar gemachtes Cyan und Chlor. (Zeitſch. 10. 124.) Zu den Halbleitern gehören: Alabaſter, Marmor, die meiſten Erden und Steine. Ein ſchlechter Leiter, wie z. B. Glas, wird zu einem guten, wenn man ihn bis zum Glühen erhitzt oder gar ſchmilzt; ebenſo leitet eine Flamme gut, trockenes

Gas ſchlecht; ſelbſt heiße noch nicht glühende Luft iſt ſchon ein guter Leiter, ſo wie geſchmolzenes Wachs. Jeder ſchlechte Leiter wird durch Aufnahme von Feuchtigkeit gut leitend, daher bei electriſchen Verſuchen das Abtrocknen der Körper ſo ſehr Noth thut und die Witterung vor ſo großem Einfluſſe iſt. Aus der verſchiedenen Leitungsfähigkeit der Körper iſt es begreiflich, daß ein guter Leiter, der ſeine Electricität behalten ſoll, mit Nichtleitern umgeben, d. i. iſolirt werden müſſe.

305. Die Electricität, welche in verſchiedenen Körpern durch dieſelben Mittel oder in demſelben Körper durch verſchiedene Mittel erregt werden kann, iſt nicht immer von gleicher Art, ſondern man kann zwei verſchiedene electriſche Zuſtände oder zwei verſchiedene Electricitäten hervorrufen. Dieſes zeigt man leicht mittelſt eines beſonders eingerichteten Electroſcopes (Fig. 283), das aus zwei frei hängenden, einander nahen, iſolirten, in einer Glasglocke befindlichen und mit Außen durch Drähte communicirenden Goldplättchen *a*, *b* beſteht. Theilt man beiden Plättchen die Electricität einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange mit, ſo ſtoßen ſie ſich ab, electriſirt man aber ein Plättchen durch eine geriebene Glasſtange, das andere durch eine geriebene Siegellackſtange, ſo ziehen ſie ſich an, und wenn ſie ſich berührt haben und man in der relativen Stärke der beiden Electricitäten das rechte Maß getroffen hat, ſo zeigen ſie ſich ganz ohne Electricität. Hat man die Electricitäten nicht im rechten Maße angewendet, ſo erſcheinen beide Plättchen gleich electriſirt. Es iſt demnach die durch Reiben des Glaſes erregte Electricität von der durch Reiben des Harzes erzeugten weſentlich verſchieden, und eine kann die andere aufheben. Weil man anfangs glaubte, dieſe Electricitäten kommen dem Glaſe und Harze eigenthümlich zu, ſo nannte man auch die eine Glaselectricität, die andere Harzelectricität. Allein, weil ſie nicht allein im Glas und Harz ſondern in jedem andern Körper erzeugt werden, ja ſowohl die eine als die andere im Glas oder Harz erregt werden kann, endlich weil ſich dieſe Electricitäten wirklich wie die poſitiven und negativen Größen in der Mathematik verhalten; ſo verfährt man zweckmäßiger, wenn man die eine poſitive ($+E$), die andere negative ($-E$) nennt. Es iſt zwar gleichgültig, welche dieſen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glaſes mit Leder oder Tuch erzeugte die poſitive, mithin die andere die negative.

Dieſe von du Fay entdeckte Verſchiedenheit der electriſchen Zuſtände läßt ſich recht augenſcheinlich darſtellen, wenn man einen glatten Harzkuchen an einer Stelle mit einem electriſirten Glaſe, an einer anderen mit electriſirtem Harze berührt, und dieſe Stellen mit feinem Staube bepudert. Dieſer wird ſich an den electriſchen Stellen zu einer beſondern Figur zuſammenſtellen, die bei der Electricität vom Glaſe nach Außen ſtrahlig iſt, wie Fig. 284 *A*, bei der vom Harze hingegen mehr punctirt, wie Fig. 284 *B* zeigt. Man heißt dieſe Figuren nach ihrem Entdecker Lichtenberg Lichtenberg'ſche Figuren. Einige wollen auch darin einen Unterſchied zwiſchen beiden Arten der Electricität gefunden haben, daß die aus Glas erhaltene wie eine Säure, die aus Harz wie Alkali auf Pflanzenfarben wirkt. (*De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. I. C. Lichtenberg. Goettingae*, 1778.)

306. Der vorhergehende Verſuch, durch welchen das Daſeyn zweier Electricitäten bewieſen wurde, zeigt zugleich, daß ſich gleichnamige Electricitäten abſtoßen, ungleichnamige aber anziehen. Dieſem Geſetze gemäß wird man leicht zu erkennen im Stande ſeyn, welche Electricität ein Körper beſitze; denn man braucht ihn nur dem Electroſcope zu nähern, nachdem man demſelben vorläufig eine beſtimmte Electricität mitgetheilt hat, und zu beobachten, ob eine Abſtoßung oder eine Anziehung erfolge, wo dann im erſten Falle gleichnamige, im letzteren ungleichnamige *E* auf einander wirken. Es beruhen auf dieſem Geſetze auch mehrere ſehr zweckmäßige Electroſcope, an denen zwei Körper angebracht ſind, wovon entweder beide oder nur einer leicht beweglich iſt und die alſogleich divergiren, wenn ſie mit einem electriſchen Körper berührt werden. Solche Electroſcope ſind das Korkkugel-Electroſcop, das Bennet'ſche, Volta'ſche, Henley'ſche Electroſcop. — Das Korkkugel-Electroſcop beſteht aus zwei Kork- oder Hollundermarkkugeln, die an feinen Fäden ſo aufgehängt ſind, daß ſie ſich im natürlichen Zuſtande berühren, wie Fig. 285. *a* zeigt. Das Bennet'ſche Electroſcop (Fig. 285. *b*) beſteht aus zwei feinen Goldplättchen, die mit einem Ende an einem gemeinſchaftlichen leitenden Stifte befeſtiget und zur Abhaltung des Luftzuges in ein gläſernes Gefäß mit leitendem Boden eingeſchloſſen ſind, das ſeitwärts, wo es die Goldplättchen berühren können, mit Zinnplättchen belegt iſt. Man kann eines von den zwei Plättchen auch durch eine kleine Metallkugel erſetzen, die ſeitwärts durch das Gefäß geht und dem einen Plättchen gegenüber ſteht. Volta's Elec-

troſcop unterſcheidet ſich vom vorigen nur dadurch, daß es ſtatt der Goldplättchen feine Strohhalme hat. Um die Divergenz dieſer Strohhalme einigermaßen meſſen zu können, iſt an der Seitenwand des Gefäßes ein eingetheilter Kreisbogen enthalten, wie Fig. 285. *c* zeigt. Henley's Electroſcop (Fig. 286) beſteht aus einem Kügelchen von Hollundermark oder Korkholz, das an einem leitenden Stifte ſteckt, welcher mit einem Ende am Mittelpuncte eines in Grade getheilten Quadranten ſo befeſtiget iſt, daß es ſich ungehindert in der Fläche desſelben bewegen kann.

307. Die Electricität kann auf ſo mannigfaltige Weiſe erzeugt werden, daß es wohl ſchwerlich eine Veränderung in der Körperwelt gibt, wobei nicht Electricität erregt wird, wenn man dieſes auch nicht beabſichtiget; indeß laſſen ſich alle dieſe Erregungsmittel auf folgende zurückführen: Berührung, Druck, Trennung, Reibung, Temperaturänderung, Formänderung, chemiſche und organiſche Proceſſe. Neueſtens will man auch am Lichte eine electriſirende Kraft gefunden haben, doch iſt man hierüber noch nicht zur Gewißheit gelangt (Schweigg. J. 52. 76). Welche von dieſen Quellen auch wirkſam ſeyn mag, ſo treten doch immer beide Electricitäten, die poſitive und negative zugleich in einem ſolchen Verhältniſſe auf, daß ſie ſich gegenſeitig neutraliſiren, ſie können auch, wenn man ihrem Abfließen durch ſchlechte Leiter vorbeugt, geſammelt werden. Oft leitet man aber abſichtlich eine der beiden Electricitäten in die Erde ab, um ſich deſto ungeſtörter mit der anderen befaſſen zu können. Wir werden in der Folge jede dieſer Quellen näher kennen lernen.

308. Als Grundurſache der electriſchen Erſcheinungen nimmt man einen eigenthümlichen, unwägbaren (ätheriſchen), ausdehnſamen Stoff an, der ſich wie die magnetiſche Materie in den Körpern befindet und electriſche Materie genannt wird. Einige (die Unitarier), an deren Spitze Äpinus und Franklin ſtehen, betrachten dieſe Materie als einfach und nehmen an, daß der natürliche Zuſtand der Körper in einem Gleichgewichte derſelben beſtehe, während ſie den Zuſtand der poſitiven Electricität als Folge ihrer unnatürlichen Anhäufung, den der negativen als Folge ihres Abganges anſehen. Andere (die Dualiſten) ſind hingegen der Meinung des Robert Symmer, der behauptet, die electriſche Materie beſtehe aus zwei Stoffen ($\pm E$), die ſich gegenſeitig anziehen und mit einander im gehörigen Verhältniſſe verbunden, den natür-

lichen Zuſtand der Körper begründen, während ein Körper poſitiv electriſch erſcheint, wenn er den einen, negativ electriſch, wenn er den anderen dieſer Beſtandtheile vorwaltend enthält. Nach dieſer Anſicht verhält ſich das electriſche Fluidum wie das magnetiſche, unterſcheidet ſich aber darin weſentlich von demſelben, daß es in allen Körpern zerſetzt werden und ſich nicht blos im Innern derſelben mit mehr oder weniger Leichtigkeit bewegen, ſondern auch von einem in den anderen übergehen kann. Schlechte Leiter widerſtehen ſeiner Bewegung mit einer gewiſſen Kraft, gute Leiter hingegen geſtatten dieſe Bewegung beinahe ohne Widerſtand. — Nach der Anſicht der Unitarier wird bei jedem Acte der Electriſirung das electriſche Fluidum in einem Körper angehäuft und dadurch derſelbe poſitiv electriſch, während der andere Körper, der jenes Fluidum lieferte, negativ electriſch wird. Nach der Anſicht der Dualiſten geht jede Electriſirung gleichſam durch eine doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich. Das electriſche Fluidum der dabei eine Rolle ſpielenden Körper wird zerſetzt und einer nimmt den poſitiven, der andere den negativen Theil davon auf. — Welche von dieſen beiden Anſichten die richtigere ſey, iſt ſchwer zu entſcheiden. Faſt alle Phänomene laſſen ſich nach beiden gleich gut erklären. Wir wollen uns in der Folge der zweiten Vorſtellungsweiſe bedienen, nicht als wäre ihr Vorzug entſchieden, ſondern um die Analogie zwiſchen Electricität und Magnetismus deutlicher vor Augen zu ſtellen.

Zweites Kapitel.

Entwicklung der Electricität durch Reibung. — Electriſirmaſchine.

309. Reibung iſt das ſeit den älteſten Zeiten bekannte Mittel der Electricitätserregung. Legt man zwei verſchiedenfarbige ſeidene Bänder der Länge nach über einander und zieht ſie mehrmals zwiſchen zwei Fingern hin und her oder reibet man eines mit dem andern nach der Queere; ſo zeigen ſich beide electriſch, hängen an einander, afficiren ein Electroſcop und geben oft ſogar im Dunkeln einen Lichtſchein; es iſt aber immer die Electricität des einen geriebenen Körpers jener des anderen entgegengeſetzt. Eben ſo verhalten ſich alle anderen ſchlechten Leiter der E, ja ſelbſt gute Leiter fügen

ſich in dieſes Geſetz, wenn man durch Iſoliren dem Abfluſſe der Electricität vorbeugt. Wenn beide geriebene Körper gute Leiter ſind, thut man gut, jedesmal nur denjenigen zu iſoliren, deſſen Electricität man kennen lernen will, den anderen aber leitend mit der Erde in Verbindung zu ſetzen, damit ſeine Electricität nicht jene des anderen binde und unmerklich mache. Man kann einen dieſer Körper in Pulverform anwenden, ihn durch ein metallenes, iſolirtes Netz auf ein Electroſcop ſieben, oder noch beſſer, einen über eine ſchief gehaltene Metallplatte in ein metallenes, übrigens gut iſolirtes Gefäß hinabgleiten laſſen, das mit einem empfindlichen Electroſcope in leitender Verbindung ſteht und die Anzeigen dieſes Inſtrumentes beobachten.

310. Die Menge der durch Reiben entwickelten E richtet ſich nach der Natur der Körper und nach der Stärke des beim Reiben angewendeten Druckes; ſie iſt aber ſchon merklich, wenn auch nur die geringſte Reibung obwaltet. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig ſchon beim Fallen durch die Luft electriſch, Queckſilber, das aus einem feinen Trichter auf eine ſchief ſtehende Glastafel herausfließt und längs derſelben hinabgleitet, zeigt ſich ſchon merklich electriſch, der aus einem beſtaubten, zuſammengeſchlagenen Buche aufgejagte Staub bringt, wenn er auf ein Goldplattelectroſcop fällt, die Goldplättchen zum Divergiren; ſelbſt ein gegen eine Glastafel gerichteter, durch einen Blasbalg erregter, Luftſtrom macht erſtere electriſch. Welcher von zwei ſich reibenden Stoffen poſitive, welcher negative E erhalte, hängt von der Natur und Temperatur der Körper und von der Beſchaffenheit ihrer Oberfläche ab. Wärmezunahme vermehrt die Neigung negativ, Politur der Oberfläche die Diſpoſition poſitiv electriſch zu werden. Daher wird von zwei ſeidenen Bändern, die man über Kreuz auf einander reibt, das der Länge nach geriebene poſitiv, das der Breite nach geriebene negativ electriſch. Diſthen nimmt auf einer ſeiner Flächen durch Reiben mit Seide $+E$, auf der anderen $-E$ an. Es laſſen ſich Körper in eine Reihe bringen, in welcher der vorhergehende mit einem nachfolgenden gerieben $+E$, der nachfolgende ſelbſt aber $-E$ erhält. Dieſe Reihe iſt für ſchlechte Leiter folgende: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellak, mattes Glas ꝛc. Für Metalle fand Becquerel (Pogg. Ann. 13. 619) folgende Reihe: Antimon, Arſenik, Kadmium, Eiſen,

Zink, Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth.

Ein Harzkuchen wird poſitiv electriſch, wenn man ihn mit Metall, negativ, wenn man ihn mit Elfenbein reibt. Mennig bekommt, wenn er durch die Luft fällt, poſitive, Schwefel hingegen negative Electricität. Schreibt man daher mit Metall und dann mit Elfenbein Figuren auf einen Harzkuchen und beſtreut ihn aus einiger Höhe mit einem aus Mennig und Schwefel gemiſchten Pulver; ſo deckt der Schwefel die mit Metall, der Mennig die mit Elfenbein geſchriebenen Buchſtaben. (*Bibl. univ.* 1823. *Janv.*)

311. Durch kräftiges Reiben läßt ſich Electricität in ſo reichlichem Maße erregen, daß man dieſes Mittel ſtets anwendet, wo es ſich um ſtarke Electricität handelt. Um die Reibung hinreichend ſtark und ohne beſondere Anſtrengung bewerkſtelligen zu können, braucht man die **Electriſirmaſchine**. Dieſe beſteht aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem anderen, der zum Reiben des erſteren dient, und aus einem beſonderen Theile zum Auffangen der erregten Electricität. Der zu reibende Körper wird ſo eingerichtet, daß man ihn um eine feſte Axe drehen kann und hat deßhalb die Form einer Scheibe, eines Cylinders, einer Kugel oder einer Glocke. Der Körper, welcher gerieben wird, das **Reibzeug**, wird mittelſt Federn an jenen angedrückt. Die entwickelte Electricität wird in einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und iſolirten Körper, dem **Conductor**, geſammelt. Der geriebene Körper beſteht meiſtens aus Glas, wiewohl er an älteren Maſchinen auch aus Porcellän, Schwefel, Seidenzeug, Holz ꝛc. beſteht und hat meiſtens die Geſtalt einer Scheibe, weil ſich dieſe an das Reibzeug am beſten anlegt und demſelben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug iſt ein ledernes Kiſſen, welches mit einem Amalgam überſtrichen wird, das am beſten aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Zink und 2 Thl. Queckſilber beſteht und das **Kienmayer'ſche** Amalgam heißt. Solcher Reibzeuge braucht man bei einer Scheibenmaſchine vier; ſie werden mit zwei- und mehrfachen Flügeln aus Wachstaffet verſehen, die ſich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Electricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glaſe viel Electricität frei werden, ſo muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit ſie nicht jene des Glaſes durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es iſt aber gut, ſie auch zum Iſo-

liren einzurichten, damit man auch aus ihnen die *E* ſammeln und ſo an einer Maſchine beide *E* erhalten kann. Der Conductor wird aus Meſſingblech verfertiget, er kann aber auch aus Holz beſtehen, das mit Stanniolio überzogen iſt. Fig. 287 ſtellt eine Scheibenmaſchine vor, in welcher *A* die Scheibe, *B* das Reibzeug, *C* der Conductor iſt. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beſchreibung einiger Electriſirmaſchinen. Stuttg., 1783. Suppl. S. 772.)

312. Die Kraft einer Electriſirmaſchine hängt ab von den Dimenſionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anſchließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und ſeiner gleichförmigen Vertheilung, von der Dicke und iſolirenden Kraft der Taffetflügel, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors und endlich von der gehörigen Iſolirung aller Theile, welche die Electricität aufzunehmen beſtimmt ſind. An einer guten Electriſirmaſchine zeigen ſich alle oben angeführten electriſchen Phänomene in vorzüglich hohem Grade. Die Anziehung iſt ſchon in einer bedeutenden Entfernung vom Conductor wohl merklich. Man nennt den Raum, innerhalb welchem ſie erfolgt, die electriſche Atmoſphäre. Bringt man dem Conductor einen guten Leiter nahe genug, ſo ſchlägt ein Funken auf ihn über, häufige Funken fahren von den Reibzeugen zum Conductor, auch der eigenthümliche Geruch wird bald rings um die Maſchine wahrgenommen werden. Auf den Erſcheinungen der electriſchen Anziehung an einer Electriſirmaſchine beruhen eine Menge electriſcher Spielwerke z. B. die electriſche Spinne, der electriſche Tanz, das elect. Glockenſpiel, der elect. Hagel, das elect. Vogelneſt ꝛc.

Drittes Kapitel.

Wirkung der electriſchen Atmoſphäre und darauf beruhende Apparate.

313. Die Wirkungen, welche electriſche Körper auf nicht electriſirte in die Ferne ausüben, ſind von vorzüglicher Wichtigkeit, weil ſie uns über die Natur des electriſchen Princips am meiſten belehren und weil die Theorie der wichtigſten electriſchen Apparate

auf ihnen beruhet. Zu Verſuchen über dieſe Wirkungen braucht man einen länglichen, iſolirten Körper, wie ihn Fig. 288 vorſtellt, an dem man in verſchiedenen Puncten kleine Korkkügelchen an feinen Fäden ſo aufhängt, daß ſich immer zwei und zwei berühren. Iſt dieſer Körper ein guter Leiter der *E* und man bringt ihn mit dem Ende *A* in die Atmoſphäre des Conductors einer Maſchine, der z. B. + *E* hat, ſo erfährt man Folgendes: 1) Die Kugeln gehen aus einander und zeigen, daß der Leiter electriſirt ſey. 2) Dieſe Divergenz der Kugeln findet an beiden Enden *A* und *B* am ſtärkſten Statt, wird gegen die Mitte immer ſchwächer ſo, daß es einen Punct daſelbſt gibt, der gar kein Zeichen der Zurückſtoßung merken läßt. 3) Nähert man den divergirenden Fäden ein Electroſcop, ſo zeigt es am Ende *A* negative, am Ende *B* poſitive Electricität. 4) Zieht man den Leiter zurück, ohne ihn zu berühren, ſo hört alle Divergenz der Kugeln auf und er befindet ſich im natürlichen Zuſtande. Der Conductor der Maſchine hat aber nichts von ſeiner Electricität verloren, außer was er auch ſonſt durch die Luft und durch die unvollkommene Iſolirung verloren hätte. Der Leiter hat alſo ſeine *E* nicht durch Mittheilung erhalten. Man ſagt, er ſey durch Vertheilung electriſirt worden. 5) Berührt man das Ende *B*, während *A* in der Atmoſphäre — *E* hat, ſo geht von *B* ein Funken in den Finger über, der Leiter verliert in *B* ſeine *E*, während in *A* die Fäden ſtärker als vorhin divergiren. 6) Nimmt man nach der Berührung den Leiter aus der electriſchen Atmoſphäre, ſo zeigt er durchaus — *E*. 7) Alle dieſe Erſcheinungen laſſen ſich ſo oft hervorbringen, als man will, ohne ſchwächer zu werden, wenn nur der Conductor der Maſchine immer gehörig ſtark electriſirt iſt. Iſt der in der electriſchen Atmoſphäre befindliche Körper ein ſchlechter Leiter der *E*; ſo wird wohl auch das vordere Ende *A* — *E* zeigen, aber + *E* wird nicht bis in die zweite Hälfte desſelben abgeſtoßen, ſondern bildet in der Nähe eine electriſche Zone — *E*, die an der nächſt daran grenzenden wieder ein + *E* durch Vertheilung hervorruft u. ſ. f. ſo, daß ein ſolcher Körper aus einer Reihe auf einander folgender Zonen beſteht, die abwechſelnd — *E* und + *E* haben.

314. Dieſe Phänomene verbreiten einiges Licht über die electriſche Anziehung und Abſtoßung, welche ein electriſirter Körper auf einen anderen ausübt, und über den inneren Hergang bei der Mittheilung der *E*. Sobald nämlich ein Körper in die electriſche Atmoſphäre kommt, wird er ſelbſt durch Vertheilung electriſch und die

Anziehung, welche er erfährt, iſt das Reſultat des Beſtrebens der zwei entgegengeſetzten Electricitäten, ſich zu vereinigen. Je näher er dem anziehenden Körper kommt, deſto mehr *E* wird in ihm durch Vertheilung entwickelt und deſto größer iſt das Beſtreben der entgegengeſetzten *E*, ſich zu vereinigen, bis endlich, bei einer gewiſſen Entfernung (Schlagweite) beider Körper von einander, die *E* die zwiſchen ihnen befindliche, ſchlecht leitende Körperſchichte zu durchbrechen vermag, in welchem Falle ein Funke übergeht, die zwei entgegengeſetzten Electricitäten ſich vereinigen und ſich gegenſeitig neutraliſiren, ſo daß dem durch Vertheilung electriſirten Körper nur mehr jene *E* übrig bleibt, welche mit der des anderen gleichnamig iſt und daher auf ſie abſtoßend wirkt. Demnach geht die ſogenannte Mittheilung nicht ſo vor ſich, wie etwa Waſſer von einem Gefäße in ein anderes überfließt, ſondern der gleich anfänglich electriſirte Körper verliert einen Theil ſeiner freien *E* durch Neutraliſation desſelben mittelſt der entgegengeſetzten *E* des anderen Körpers und dadurch wird in dieſem eben ſo viel gleichnamige *E* frei.

315. Die meiſten Vorrichtungen, welche nebſt der Electriſirmaſchine und den Electroſcopen den geſammten electriſchen Apparat ausmachen, beruhen auf der Electriſirung durch Vertheilung. Die wichtigſten derſelben ſind: Die Franklin'ſche Tafel, die Leidnerflaſche, die electriſche Batterie, der Electrophor und der Condenſator.

316. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinnplättchen belegt (armirt) ſo, daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflöſung von Siegellack in Weingeiſt überſtreicht; ſo hat man diejenige Vorrichtung, welche Franklin'ſche Tafel genannt wird. — Theilt man einer belegten Fläche derſelben, z. B. $+E$ mit, ſo wird dadurch auch das Glas, welches mit der Belegung in Berührung ſteht, electriſirt. Dieſe *E* zerſetzt die natürliche Electricität, die mit $\pm E$ bezeichnet werden mag, auf der entgegengeſetzten Fläche des Glaſes, $-E$ wird angezogen, $+E$ abgeſtoßen. Letztere fließt, wenn dieſe Fläche nicht iſolirt iſt, in den Boden ab, wovon man ſich leicht überzeugen kann, wenn man ſie iſolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da ſieht man, während die andere Fläche electriſirt wird, Funken übergehen, mit denen man ſogar eine zweite ähnliche Tafel electriſiren kann. Die Tafel heißt in dieſem Zuſtande geladen.

Daß bei dieſem Verfahren das Glas wirklich geladen werde und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die *E* auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der andern ſie leicht abzuleiten, lehrt folgender Verſuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire ſie ſtatt mit Zinnfolio mit Metallplatten und lade ſie. Nimmt man hierauf mittelſt iſolirender Handgriffe die Platten von der Glastafel weg und berührt ſie mit dem Finger, damit ſie die *E* verlieren; ſo lehrt die Erfahrung, daß, ſobald man dieſe Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben iſt, dieſelbe geladen erſcheine. Man kann ſtatt Glas mit Vortheil eine dünne Tafel von Glimmer oder von jedem anderen ſchlecht leitenden Körper brauchen.

317. Eine Flaſche, die in- und auswendig mit Metall beſetzt iſt, wie eine Franklin'ſche Tafel, bis auf einen ſchmalen Streifen am oberen Rande, ſtellt eine Leidnerflaſche vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas wird in- und auswendig mit Stannifolio ſo belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande in- und auswendig unbelegt bleibt. Dieſen beſtreicht man, um die Belegungen gut zu iſoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, ſtellt einen Metalldraht ſo hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß herausſteht und in einen Knopf endet (Fig. 289). Hält man den Knopf der Flaſche an den wohlelectriſirten Conductor einer Maſchine, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde ſteht; ſo wird die Flaſche, wie vorhin die Franklin'ſche Tafel, geladen.

318. Wenn man mehrere Leidnerflaſchen oder Franklin'ſche Tafeln ſo mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication ſtehen, ſo erhält man eine electriſche Batterie (Fig. 290). Es iſt klar, daß dieſe geladen wird, wenn man blos dem Knopfe einer Flaſche *E* aus dem Conductor der Maſchine mittheilt, und daß ſie ausgeladen wird, wenn man blos die innere Belegung einer Flaſche mit ihrer äußeren durch einen guten Leiter in Verbindung ſetzt. Eine Batterie vertritt eigentlich eine große Leidnerflaſche, hat aber vor dieſer den bedeutenden Vorzug, daß man ſie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaſchen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausſchließt, endlich wird durch Beſchädigung einer Flaſche nicht gleich die ganze

Batterie unbrauchbar, wie dieſes bei einer großen Flaſche immer der Fall iſt.

Wenn man mehrere Franklin'ſche Tafeln oder Leidnerflaſchen neben einander ſtellt und die eine Belegung der einen mit der anderen Belegung der zunächſt folgenden in leitende Verbindung ſetzt; ſo wird auch das ganze Syſtem der Tafeln oder Flaſchen geladen werden, wenn man auch nur der einen Belegung der erſteren E mittheilt; allein die Stärke der Ladung nimmt vom erſten Elemente angefangen ab, und zwar deſto ſchneller, aus je dickerem Glaſe dieſe Elemente gemacht ſind. Eine ſolche Zuſammenſtellung nennt man eine electriſche Säule.

319. Ein äußerſt wichtiges Inſtrument iſt der von Wilke erfundene und von Volta verbeſſerte Electrophor (Fig. 291). Dieſer beſteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegoſſen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimenſionen als der Harzkuchen iſt, und welcher mittelſt ſeidener Schnüre iſolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsſchwanze oder mit Katzenfell gerieben, ſo wird er negativ electriſch. In dieſem Zuſtande laſſen ſich folgende Erſcheinungen hervorbringen. 1) Unterſucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, ſo zeigt er oben die E des Kuchens $(-E)$, unten die entgegengeſetzte $(+E)$. 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, ſo gibt er kein Zeichen der E. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, ſo bemerkt man einen kleinen Funken, und der dann aufgehobene Deckel zeigt $+E$. 4) Berührt man, nach Auflegung des Deckels, mit einem Finger die Form, mit dem anderen den Deckel, ſo erhält man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält ſich wie in 3). 5) Richtet man den Electrophor ſo ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; ſo findet man am Kuchen, ſo lange der Deckel aufliegt, unten $+E$. Die Form zeigt oben $-E$, unten $+E$. 6) Alle dieſe Erſcheinungen erfolgen, die Form mag iſolirt ſeyn, oder nicht, nur mit dem Unterſchiede, daß die iſolirte Form nach dem Berühren in 4 und nach Aufhebung des Deckels $-E$ zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die beſte Harzmaſſe zu einem Electrophor erhält man aus 10 Th. Gummilack, 3 Th. Harz, 2. Th. ven. Terpentin, 2 Th. Wachs und ½ Th. Pech. Man kann ſtatt des Harzkuchens auch eine Glastafel

nehmen, allein dieſe hält die E nicht lange genug. Weber erſetzte ihn gar durch eine Luftſchichte. Wodurch man ihn aber immer erſetzen mag, ſo bleiben doch die Erſcheinungen dieſelben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der electriſche Körper $+E$ hat, in allen erwähnten Phänomenen auch ſtatt $+E$, $-E$ und umgekehrt erhält. Man bedient ſich des Electrophors mit Vortheil zu Zündmaſchinen; man kann auch Flaſchen damit laden.

320. Alle dieſe Erſcheinungen des Electrophors ſind Folgen der Electriſirung durch Vertheilung. Die $-E$ des Kuchens bewirkt im Deckel eine Zerlegung der $\pm E$, ſie zieht $+E$ an, ſtoßt $-E$ ab; daher die Erſcheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen ſelbſt erzeugt $-E$ der oberen Fläche unten $+E$. Dieſe zerſetzt wieder $\pm E$ der Form, zieht $-E$ an und ſtoßt $+E$ ab; daher die Phänomene 4, 5, 6.

321. Der Condenſator, ein im Jahre 1782 von Volta zuerſt bekannt gemachtes Inſtrument, dient, ſchwache Electricitäten zu entdecken, die mittelſt eines gewöhnlichen Electroſcops nicht mehr entdeckt werden können. Er beſteht in ſeiner einfachſten Form aus einer halbleitenden, meiſtens marmornen, runden Platte als Baſis A (Fig. 301) und aus einem iſolirten, leitenden, runden Deckel B. Man kann aber auch zwei Metallplatten von gleicher Größe nehmen, wovon eine die Baſis, die andere den Deckel bildet und mit einem gläſernen Handgriffe verſehen iſt. Beide müſſen an der Fläche, wo ſie ſich berühren, mit einer dünnen Firnißſchichte überzogen werden. Dieſe Firnißſchichte läßt ſich auch durch eine Luftſchichte erſetzen. In dieſem Falle bekommt die Baſis drei kleine Siegellack- oder Glastropfen, die dem Deckel als Stütze dienen und deren Höhe die Dicke der Luftſchichte zwiſchen Baſis und Deckel beſtimmt. Oft werden beide Metallſcheiben a und b (Fig. 302) mittelſt eigener Träger, wovon der zu b gehörige aus Glas, der andere aus Metall iſt, auf einem Geſtelle befeſtiget, und laſſen ſich mittelſt einer Schraube einander nähern oder von einander entfernen. a kann man auch um eine in der Nähe des Geſtelles befindliche Charnier drehen und ganz umlegen. Zu vielen Zwecken iſt die Einrichtung ſehr bequem, wo die Platte a des Condenſators (Fig. 303) mit einem empfindlichen Electroſcope b in Verbindung ſteht, dann iſt die darauf ſtehende c mittelſt eines gläſernen Handgriffes iſolirt, a iſt, des leichteren Gebrauches wegen, ſeitwärts mit einem Knöpfchen verſehen und vertritt die Stelle des Deckels, c die der Baſis.

322. Beim Gebrauche des Condenſators verfährt man ſo: Während der Deckel auf der Baſis ruht, berührt man ihn mit dem Körper, in welchen man *E* vermuthet, hebt dann den Deckel auf und unterſucht mittelſt eines Electroſcops, ob er Zeichen der *E* von ſich gebe. Oft iſt die zu erforſchende *E* eines Körpers ſo gering, daß man den Deckel des Condenſators öfter berühren muß, um *E* daran wahrzunehmen; nicht ſelten führt auch dieſes zu keinem Reſultate. In ſolchen Fällen berührt man mit dem von der Baſis abgehobenen Deckel des Condenſators den eines zweiten, und unterſucht dann an dieſem das Daſeyn electriſcher Spuren. Dabei hat man aber ſehr darauf zu achten, daß beide Condenſatordeckel von einerlei Material ſeyen und daß nicht durch einen etwaigen Stoß erſt während der Unterſuchung *E* erregt werde.

323. Um die Wirkung des Condenſators aus der Vertheilung der *E* zu begreifen, denke man ſich den mit einer Harzſchichte überzogenen Deckel dieſes Inſtrumentes auf die leitende Baſis geſtellt. Bringt man nun mit dem Deckel einen z. B. poſitiv electriſchen Körper *A* in Berührung, ſo wird er ſelbſt durch Mittheilung electriſch, allein er braucht, um mit *A* ins electriſche Gleichgewicht zu kommen, mehr *E*, als wenn er nicht auf der Baſis ſtände; denn die ihm im Augenblicke der Berührung mitgetheilte *E* geſetzt die $\pm$ *E* der Baſis, ſtoßt + *E* derſelben ab und zieht — *E* an. Dieſe — *E* wirkt aber auf die freie + *E* des Deckels zurück, bindet einen Theil derſelben und ſchwächt ſo ihre electriſche Spannung. Dieſes bewirkt, daß von *A* ein neuer Theil der *E* in den Deckel übergeht, der einen ferneren Theil der $\pm$ *E* der Baſis zerlegt, ſo daß das Spiel von Neuem beginnt und ſo lange fortdauert, bis zwiſchen der freien + *E* des Deckels und der — *E* der Baſis ein vollkommenes Gleichgewicht eingetreten iſt. Der Exponent des Verhältniſſes zwiſchen der Electricität, welche der Deckel von *A* aufnimmt, während er auf der Baſis ſteht, und derjenigen, die er aufnehmen würde, wenn er ſich nicht auf der Baſis befände, heißt die condenſirende Kraft des Condenſators. Vom Condenſator iſt Cavallo's Collector und Bennet's Dupplicator nicht weſentlich verſchieden. (Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Viertes Kapitel.

Entwicklung der Electricität durch Berührung — Volta'ſche Säule.

324. Die Berührung iſt die reinſte und in gewiſſer Hinſicht ausgiebigſte Quelle der Electricität. Wenn man zwei Körper von verſchiedener Natur mit einander in Berührung bringt; ſo verſetzen ſie ſich gegenſeitig in einen electriſchen Zuſtand und einer davon erſcheint poſitiv, der andere negativ electriſch, ſelbſt nachdem man ſie wieder von einander getrennt hat; allein ihre Electricität iſt in der Regel ſo ſchwach, daß man ſie nur mittelſt des Condenſators erkennen kann. Will man dieſes durch einen Verſuch (welcher der Volta'ſche Fundamentalverſuch heißt) erfahren, ſo nehme man eine etwa 1 Z. große, recht glatte Zink- und eine ebenſo große Kupferplatte, befeſtige jede derſelben an einen iſolirenden Handgriff, faſſe beide bei dieſem und bringe ſie mit einander in Berührung, trenne ſie hierauf und übertrage die Electricität der einen oder der anderen an einen Condenſator und wiederhole dieſes Verfahren 5—10 mal. Der Condenſator zeigt dann deutlich die Electricität der Platten. Damit man nicht glaube, es werde hier etwa die Electricität durch gelinden Druck oder durch Reiben erregt, kann man eine Zink- und eine Kupferplatte am Rande zuſammenlöthen, und indem man eine derſelben in der Hand hält, die andere mit dem Condenſatordeckel mehrere Male hinter einander berühren, wobei man wieder denſelben Erfolg ſehen wird, wie beim vorhergehenden Verſuche. Der eigentliche Ort der Erregung der Electricität iſt die Berührungsſtelle der zwei Körper; wenn ſie aber gute Leiter ſind, ſo verbreitet ſich die poſitive Electricität über die ganze Oberfläche des einen und die negative über die ganze Oberfläche des anderen Körpers. Bei ſchlechten Leitern bleiben die E auf den der Berührungsſtelle nahen Raum beſchränkt und können nur ſchwer wahrgenommen werden. Man ſieht dieſe Erregung als den Erfolg beſonderer Kräfte an, die man electromotoriſche nennt, deren Wirkſamkeit man es zuſchreibt, daß einer der zwei ſich berührenden Körper, deſſen Kraft größer iſt, poſitive, der andere negative Electricität erlangt, und daß jene nicht in dieſen, dieſe nicht in jenen Körper übergehen kann. Dieſe Kraft hat unter denſelben Umſtänden für daſſelbe Körperpaar

ſtets dieſelbe Größe und macht daher, daß die Differenz des electriſchen Zuſtandes beider Körper unter allen Umſtänden, ſelbſt wenn einer die Erde leidend berührt, conſtant iſt. Hat demnach der eine von zwei Körpern die Electricität $+a$, der andere die Electricität $-a$ durch Berührung angenommen, ſo daß ihre electriſche Differenz $2a$ iſt, ſo muß, falls der erſtere mit der Erde communicirt und daher ſeine Electricität $= 0$ iſt, der andere die Electricität $-2a$ annehmen. Für verſchiedene Körperpaare iſt dieſe Kraft auch verſchieden. Sie iſt in der Regel zwiſchen einem feſten und einem flüſſigen Körper, noch mehr aber zwiſchen zwei flüſſigen viel kleiner, als zwiſchen zwei feſten, ſo daß man flüſſige Körper oft blos als Leiter der Electricität anſehen kann. Es laſſen ſich alle Electromotoren in eine Reihe (Spannungsreihe) ſo zuſammenſtellen, daß jeder der vorhergehenden in Berührung mit einem der nachfolgenden $+E$, mithin dieſer ſelbſt $-E$ erhält und dieſe E iſt deſto intenſiver oder die electromotoriſche Kraft iſt deſto größer, je weiter die Körper in dieſer Reihe von einander abſtehen. Eine ſolche, von Volta angegebene Reihe iſt folgende: Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten und kryſt. Braunſtein. Viel reichhaltigere kommen ſpäter vor. Nach Volta iſt die electriſche Differenz zwiſchen Zink und Blei $= 5$, zwiſchen Blei und Zinn $= 1$, zwiſchen Zinn und Eiſen $= 3$, zwiſchen Eiſen und Kupfer $= 2$ und zwiſchen Kupfer und Silber $= 1$ und man findet die electriſche Differenz zwiſchen je zwei Körpern dieſer Reihe, die nicht unmittelbar auf einander folgen, wenn man die Summe der electriſchen Differenzen für alle zwiſchen dieſen Körpern enthaltenen Stoffe ſucht. So z. B. iſt die electriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer $= 11$, weil die zwiſchen Zink und Blei $= 5$, zwiſchen Blei und Zinn $= 1$, zwiſchen Zinn und Eiſen $= 3$, endlich zwiſchen Eiſen und Kupfer $= 2$ und $5 + 1 + 3 + 2 = 11$ iſt. Zwiſchen flüſſigen und feſten Körpern, noch weniger aber zwiſchen flüſſigen unter ſich gibt es keine Spannungsreihe, oder wenn es eine geben ſollte, ſo ſchließt ſie ſich gewiß nicht an jene der feſten Körper an. Dieſe durch Berührung erregte Electricität heißt oft Contact- oder Galvaniſche Electricität, man nennt ſie auch Volta'ſche Electricität. Ein in gegenſeitiger Berührung ſtehendes Plattenpaar wird ein Volta'ſches oder Galvaniſches Element oder eine einfache Kette genannt.

325. Durch zweckmäßige Zuſammenſtellung mehrerer Volta'ſcher Elemente mit einem flüſſigen Leiter, erhält man die Volta'ſche

(galvaniſche) Säule oder Batterie. Zu den Elementen wählt man gewöhnlich Platten aus Zink *(Z)* und aus Kupfer *(K)* und trennt jedes Paar derſelben durch einen flüſſigen Leiter *(L)*. Dieſer Apparat wird aus ſeinen Elementen auf verſchiedene Weiſe zuſammengeſetzt, je nachdem die Anzahl dieſer Elemente groß oder klein und ihre Ausdehnung bedeutend oder gering iſt. Wenige (höchſtens 50) und nicht gar große Platten ſtellt man am liebſten in der Ordnung *KZLKZL* ꝛc. in Form einer verticalen Säule (Fig. 292) zwiſchen Glasſtäben zuſammen, ſo daß, wenn die unterſte Platte Kupfer iſt, die oberſte aus Zink beſteht oder umgekehrt. Der feuchte Leiter *L* beſteht da gewöhnlich aus Tuch- oder Pappſcheiben, welche in aufgelöſtem Kochſalz oder Salmiak, noch beſſer in einer ſchwachen Säure, wie z. B. in Eſſigſäure, worin etwas Kochſalz aufgelöſt iſt, getränkt wurden. Will man mehr Platten zuſammenſtellen, ſo bildet man von ihnen mehrere ſolche Säulen, ſtellt ſie neben einander und verbindet das Kupferende der einen mit dem Zinkende der anderen mittelſt guter Leiter. Um das Reinigen der Platten zu erleichtern, welches immer vorgenommen werden muß, wenn der Apparat einige Zeit im Gange war, und auch um größere Platten anwenden zu können, braucht man die ſogenannten Becher- und Trogapparate. Ein Becherapparat (Fig. 293) beſteht aus einer Anzahl gläſerner Gefäße, welche den flüſſigen Leiter enthalten, und aus eben ſo vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelſt eines Metallſtreifens verbunden iſt; dieſe werden in die Gefäße ſo eingehängt, daß in jedes derſelben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu ſtehen kommt. Graf Stadion nahm ſtatt der Zinkplatte eine bloße Zinkſtange und ſtatt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkſtange iſt mittelſt eines Bogens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 294.) Berzelius empfiehlt als den einfachſten Volta'ſchen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet iſt, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breit geſchlagen wird und ſo gleich ſtatt der Kupferplatte dient. Man kann ſtatt gläſerner Gefäße auch ſchmale kupferne anwenden, ſie in eine Reihe neben einander ſtellen und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächſtfolgenden Gefäße verbinden. Ein Trogapparat (Fig. 295) hat folgende Einrichtung: Er beſteht aus einem Kaſten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren

jede meiſtens aus zwei zuſammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, ſogenannten Doppelplatten, beſteht und die ſo angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferſeite der Zinkſeite der folgenden zuwendet, wodurch ſchon erreicht wird, daß, wenn die erſte mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüſſige Leiter gegoſſen. Die einzelnen Zellen dürfen nicht unter einander communiciren. Um dieſes deſto leichter zu erreichen, macht man Tröge von Porcellan oder anderem Töpferzeug, die ſchon in Zellen eingetheilt ſind. Da werden aber die zwei Platten eines Elementes nicht zuſammengelöthet, ſondern mittelſt eines beiderſeits angelötheten Metallſtreifens verbunden, damit ſie in zwei benachbarte Zellen des Troges geſtellt werden können. Man macht auch gerne die Kupferplatte doppelt ſo lang als die Zinkplatte, (Fig. 296) und biegt ſie dann um dieſe herum, ohne daß ſich beide berühren. Um alle Elemente dieſes oder des vorhergegangenen Apparates zugleich in die Zellen einſenken und wieder herausheben zu können, ſind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiſte befeſtigt. (Fig. 297.) Will man einzelne, beſonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüſſigkeit ausreichen; ſo wird zwiſchen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze ſpiralförmig zuſammengewunden, jedoch ohne daß ſich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann die Zinkplatten auch in offene Hülſen von Kupfer ſo ſtellen, daß ſie ſich nirgends berühren und durch gefirnißte Holzſtäbe von einander gehalten werden. Mit 250 ſolchen Paaren, wo die Zinkplatte 7 Zoll lang und 5 Zoll breit war, hat Hare eine Säule gebaut, die er Deflagrator nannte.

326. Die Stärke einer Volta'ſchen Säule hängt ab von der Reinheit der ſich berührenden Flächen, von der Natur und Dicke des flüſſigen Leiters und von der Anzahl und Größe der Platten. Da vorzüglich nur durch metalliſche Berührung des Zinks und Kupfers E erregt wird, ſo iſt es wohl natürlich, daß Unreinigkeiten an den ſich berührenden Flächen die Thätigkeit der Säule ſchwächen, oder ganz aufheben müſſen. Darum ſollen die Metalle vor jedem Verſuche aufs Neue gereiniget werden, deßhalb iſt es gut, jedes Zinkſtück mit einem Kupferſtücke zuſammenzulöthen. Aber ſelbſt ein ſchlecht leitender Überzug an den Theilen der Platten, die mit der leitenden Flüſſigkeit in Berührung ſtehen, vermindert die Stärke des electriſchen Stromes oder hebt ihn ganz

auf. Deßhalb wirkt auch eine Säule, die reine Platten hat, meiſtens gleich nach ihrer Errichtung am ſtärkſten, wird immer ſchwächer und hört endlich gar zu wirken auf. Ungemein groß iſt der Einfluß der Leitungsfähigkeit des Zwiſchenkörpers auf die Stärke einer electriſchen Säule. Nach dem Zeugniſſe der Erfahrung wirken Salzauflöſungen als Zwiſchenkörper beſſer als Waſſer, alkaliſche Laugen beſſer als Salzauflöſungen, und Säuren beſſer als alle übrigen. Am kräftigſten wirkt eine Säule, bei welcher Salpeterſäure als feuchter Leiter angewendet wird; minder wirkt ſie, wenn man dazu Salzſäure und noch minder, wenn man Schwefelſäure nimmt. Gay Luſſac fand, daß die Intenſität der Wirkung mit der Concentration der Flüſſigkeit im geraden Verhältniſſe ſtehe, wahrſcheinlich, weil ſich auch ihre Leitungsfähigkeit verkehrt wie die darin enthaltene Waſſermenge verhält. Der beſte flüſſige Leiter geſtattet aber doch der E den Durchgang durch ihn nicht ſo ſchnell, als ſich die Electromotoren laden. Daher kommt es auch, daß die Schnelligkeit des electriſchen Stromes und alle davon abhängenden Wirkungen abnehmen, wenn die Dicke der flüſſigen Schichte wächſt. Daher ſoll man die Elemente einer Volta'ſchen Säule möglichſt nahe an einander zu bringen ſuchen.

327. Um einzuſehen, wie aus der electromotoriſchen Kraft und ihren Geſetzen eine Verſtärkung der Electricität der einzelnen Elemente hervorgehe, denke man ſich eine Zinkplatte mit einer Kupferplatte in Berührung und durch ihre electromotoriſche Kraft in jener eine gewiſſe Menge poſitiver, in dieſer eine eben ſo große Quantität negativer E entwickelt. Würde auf die Kupferplatte eine zweite Zinkplatte unmittelbar gelegt; ſo wäre das Kupfer von zwei gleichen und entgegengeſetzten electromotoriſchen Kräften afficirt, welches keinen Erfolg haben könnte. Kommt aber mit der zweiten Zinkplatte eine zweite Kupferplatte in Berührung; ſo wird ſowohl das mittlere Zink als das Kupfer ohne Wirkung erſcheinen, indem beide von gleichen und entgegengeſetzten electromotoriſchen Kräften afficirt werden, und der Erfolg wird ſo beſchaffen ſeyn, als berührten ſich nur die äußerſte Zink- und Kupferplatte. Eben ſo iſt es, wenn wie viel immer Plattenpaare einander berühren, ja ſelbſt, wenn was immer für Metalle in was immer für einer Ordnung unmittelbar auf einander folgen, ſo iſt die electromotoriſche Wirkung doch dieſelbe, als wenn ſich das erſte und letzte Metall unmittelbar berührten. Anders fällt der Erfolg aus, wenn jedes Plattenpaar

durch einen Körper vom nächſtfolgenden getrennt wird, der nur als Leiter, nicht als Electromotor wirket. Es ſey nun in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Electricitätsmenge des Zinkes $+a$, die des Kupfers $-a$ und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht electromotoriſch wirkend anſehen wollen. Dieſer nimmt von der Kupferplatte ſo viel E auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhält, dieſer Verluſt wird aber im Kupfer augenblicklich durch die electromotoriſche Kraft wieder erſetzt und ſein Electricitätszuſtand iſt wieder $-a$. Es haben daher die Theile der Säule ZKL in der Ordnung, wie ſie auf einander folgen, die Electricitäten $+a$, $-a$, $-a$. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, ſo nimmt auch dieſe durch den feuchten Leiter an der Electricität der erſten Kupferplatte Theil und der Zuſtand der Säule $ZKLZ$ iſt in ihren einzelnen Theilen folgender: $+a$, $-a$, $-a$, $-a$. Nun lege man auf Z ein zweites K, welches als Leiter und zugleich als Electromotor auftritt. Als Leiter nimmt dieſes K die Electricität $-a$ an, als Erreger erhält es abermals $-a$, das Z bekommt $+a$ und dieſes $+a$ wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, ſo daß demnach in der Säule folgende electriſche Zuſtände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, das zweite als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$
Das zweite Element als Erreger, das erſte als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$
Beide El. als Leit. und Erreger	$+2a$,	0,	0,	0,	$-2a$.

Auf ähnliche Weiſe erhält man in einer Säule aus 3 Elementen folgende Electricitätszuſtände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das 1. Elem. als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$
Das 2. als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$	$+a$	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$
Das 3. als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$	$+a$	$+a$	$+a$	$+a$	$+a$	$+a$	$-a$
Alle 3 Elemente als Leiter und Erreger	$+3a$,	$+a$	$+a$	$+a$	$-a$	$-a$	$-a$	$-3a$

Es nimmt demnach die Spannung ſowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pol an nach der entgegengeſetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, gerade wie es die Erfahrung zeigt. Hier wurde die Flüſſigkeit als bloßer Leiter betrachtet und ih-

re electromotoriſche Kraft gar nicht in Betrachtung gezogen, welches um ſo mehr geſchehen konnte, als dieſe Kraft wohl nicht an und für ſich, ſondern in Vergleich zu jener der feſten Körper ſehr klein iſt. Nach Becquerel iſt die von flüſſigen Körpern durch Berührung mit Metallen erregte Electricität ſtets von der Art, daß ſie die durch die electromotoriſche Kraft der Metalle unter ſich erregte Electricität ſteigert, durch chemiſche Einwirkung der Flüſſigkeit auf die Metalle kann aber auch ein entgegengeſetzter Erfolg Statt finden.

328. Bei der Volta'ſchen Säule iſt der Zwiſchenkörper ſtets ein flüſſiger Leiter; man kann aber auch aus lauter feſten Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmteſten Säulen dieſer Art ſind aber die von Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie beſtehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierſeite mit Manganoxyd eingerieben iſt. Bringt man einige Tauſend ſolcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläſerne Röhre, verſieht ſie oben mit einem leitenden Knopfe und ſtellt deren zwei Röhren nahe an einander, ſo daß in einer die Goldſeite, in der anderen die Silberſeite des Papiers aufwärts gekehrt iſt; ſo kann ein zwiſchen ſie geſtelltes, zartes, iſolirtes Pendel abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen werden, mit éiner Kraft, die man ſo weit verſtärken kann, daß ſie ein Uhrwerk in Bewegung ſetzt. F. 298 ſtellt dieſe Säulen vor. Die Wirkſamkeit einer ſolchen Säule iſt aber keineswegs ſo conſtruirt, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung mitgetheilt werden könnte, ſondern ſie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächſt, wird ſtärker, wenn die Temperatur ſteigt und zwar faſt im geraden Verhältniſſe mit der Temperaturveränderung, wenn dieſelbe langſam eintritt (Zeitſch. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papieres wird ihre Kraft geſteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt ſich ſelbſt eine Säule aus möglichſt getrocknetem Papiere noch wirkſam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380.) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und ſie in einen Trog ſo einſetzt, daß alle polirten Flächen nach derſelben Seite hinſehen und zwiſchen je zwei Platten eine etwa $\frac{1}{4}$ Linie dicke Luftſchichte bleibt. Hier vertreten die zwei ver-

ſchiedenen Flächen die zwei Metalle und die zwiſchen zwei Metallplatten befindliche Luftſchichte das Papier.

Trockene Säulen hat Behrens aus Flintenſteinen, die einerſeits mit Zink, andererſeits mit Kupfer überzogen waren, Deluc aus Goldpapier und verzinntem Eiſenblech, Biot aus Zink, Kupfer und Salpeterſcheiben, Jäger aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide, Ritter aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder, Kämtz aus vielen organiſchen Stoffen, wie z. B. aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep ꝛc. ꝛc. conſtruirt. (Schweigg. J. 56. 1.) Bohnenberger hat zwei kleine, Zamboniſche Säulen, zwiſchen welchen ein Goldplättchen hängt, als Electroſcop empfohlen. (Tübinger Blätter 1. 380 oder Schweigg. J. 25. 159.) Wirklich zeigt ein ſolches Inſtrument nicht nur die kleinſten Spuren der *E*, ſondern auch zugleich ihre Beſchaffenheit. Man kann aber auch eine einzige Säule zu dieſem Zwecke brauchen, wie Becquerel zuerſt gethan hat.

329. Die electromotoriſche Kraft, welche bei der Berührung eines feſten Körpers mit einer Flüſſigkeit rege gemacht wird, läßt ſich zur Conſtruction einer der Volta'ſchen Säule im Kleinen ähnlichen Vorrichtung benutzen, indem man die Flüſſigkeit abwechſelnd mit einer größeren und kleineren Fläche des feſten Körpers in Berührung bringt. Von der Art iſt Zamboni's zweielementige Säule. Dieſe erhält man, wenn man mehrere Zinnplättchen ſo ſchneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, ſie in mit Waſſer gefüllte Uhrgläſer ſo ſtellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander ſtehenden Gläſern gleichſam reitet und immer in ein Glas von einem ſolchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil zu ſtehen kommt. Da bemerkt man an dem äußerſten Plättchen eine electriſche Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinns hat in der Regel —*E*, das andere +*E*. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn ſich die electriſche Spannung verloren hat, welches meiſtens nach ein Paar Tagen geſchieht, ſo kann man ſie durch Zuſatz von etwas Kochſalz wieder erwecken.

Fünftes Kapitel.

Erregung der Electricität durch andere Mittel.

330. Außer den bereits erörterten Quellen der Electricität ſind noch die minder ergiebigen, nämlich Druck, Trennung, Wärmeänderung, chemiſche und organiſche Proceſſe zu betrachten übrig. Werden zwei Körper zuſammengedrückt, ſo kann nebſt der Berührung auch noch die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile ein Erregungsmittel der E werden. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Phyſiker hierüber Verſuche angeſtellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich electriſch werden. Insbeſondere fand dieſe Eigenſchaft Haüy in einem hohen Grade an kleinen Doppelſpathen. In dieſen kann man durch bloßen Druck zwiſchen den Fingern $+E$ erregen. Eben ſo hat Libes bemerkt, daß eine iſolirte Metallſcheibe $-E$ erhält, wenn man ſie an gefirnißten Taffet andrückt. Deſſaignes hat dieſe Verſuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck electriſch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Unterſuchungen die wichtige Wahrheit völlig ſicher geſtellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen electriſchen Zuſtand verſetzt werden kann. Becquerel verfertigte aus dem zu unterſuchenden Körper ein Scheibchen, befeſtigte es mittelſt Siegellack an ein Glasſtäbchen, das zur Vermeidung der Electriſirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe verſehen war, überzeugte ſich zuerſt, daß hieran gar keine freie E hafte und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben ſo befeſtigtes, iſolirtes oder an einen anderen beliebigen Körper. Verſuche, die er auf dieſe Weiſe mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Kautſchouc, Orangeſchalen, Stärkmehl, Doppelſpath, Gips, Flußſpath, Schwerſpath, mit mehreren Metallen und ſelbſt mit eingedickten Flüſſigkeiten angeſtellt hat, lehrten, daß, wenn beide an einander gedrückte Körper iſolirt ſind, ſie entgegengeſetzte Electricitäten zeigen, iſt aber nur einer davon iſolirt, ſo gibt zwar dieſer immer Spuren freier E, aber am anderen ſind die der entgegengeſetzten nur dann merklich, wenn er ein ſchlechter Leiter iſt. Welcher von beiden poſitiv oder negativ electriſch wird, ſcheint vom Verhältniſſe ihrer Ela-

ſticität abzuhängen. Die Menge der *E* wird durch die Natur der zuſammengedrückten Körper, durch die Stärke des Druckes und durch die Leitungsfähigkeit, Temperatur und Beſchaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe beſtimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel ſtärker electriſch als Kalkſpath. Körper, die ſich ſtark adhäriren, geben mehr Electricität als ſolche, die dieſes nur in einem geringen Grade thun. Bei denſelben Körpern und einem mäßigen Drucke iſt die entwickelte Electricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt. Je geringer die Leitungsfähigkeit der zuſammengedrückten Körper iſt, deſto größer wird die Menge der frei gewordenen Electricität bei übrigens gleichen Umſtänden. Drückt man einen guten und einen ſchlechten Leiter an derſelben Stelle mehreremale hinter einander mit veränderter Stärke zuſammen, ſo findet man bei der Trennung eine Electricität von ſolcher Stärke, wie ſie dem ſtärkſten Drucke entſpricht. Bei guten Leitern vereinigen ſich die entgegengeſetzten Electricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man kann nur durch eine ſehr ſchnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Electricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen iſt, deſto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie *E* wahrzunehmen. Übrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Electricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältniſſe ſtehen. Dieſes bemerkt man beſonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenſcheibe zuſammendrückt und ſie bald ſchneller bald langſamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Electricitätserregung beweiſet der Umſtand, daß zwei Korkſcheiben, die man durch Entzweiſchneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo ſie durch einen Druck keine electriſche Ladung annehmen, ſich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, ſobald eines dieſer Stücke erwärmt wird. Daſſelbe zeigen zwei Doppelſpathe. Läßt man aber den Druck ſo lange anhalten, bis beide Körper wieder dieſelbe Temperatur angenommen haben, ſo wird man ſie ohne die geringſte Spur der *E* von einander trennen. Der Feuchtigkeitszuſtand modificirt die Menge der frei gewordenen *E* bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerſpath, Gips, Glimmer u. ſ. w. immer dann nach dem Drucke merkliche *E* zeigen, wenn ſie früher abgetrocknet wurden. Die Beſchaffenheit der Oberfläche hat in ſo weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als ſie die Leitungsfähigkeit än-

dert. So wird z. B. der ſonſt ſchlecht leitende Doppelſpath ein guter Leiter der E, wenn man ihm ſeine Politur benimmt, und erhält dann nur im iſolirten Zuſtande ſeine Electricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12. 174.)

331. An die Electricitätserregung durch Druck ſchließt ſich unmittelbar die durch Trennung der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das geſpalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerſtoßen dasſelbe. Daß dieſes electriſchen Urſprunges ſey, erkennt man daraus, daß, wenn man an einem Glimmerplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an iſolirende Handgriffe befeſtiget und mit dieſen die Trennung vollendet, dieſe Blätter ſich merklich electriſch zeigen. So wie Glimmer verhalten ſich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen kryſtalliſirten Körper, wenn ſie rein geſpalten, nicht zerriſſen oder gebrochen werden, doch geſchieht dieſes nicht beim Spalten nach jedem, ſondern nur nach einem beſtimmten Blätterdurchgange. So z. B. erſcheinen Theilungsſtücke eines Topaſes nur dann electriſch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe ſenkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. — Das Electriſiren durch Spalten iſt dem durch Drücken ſehr ähnlich; denn wird z. B. ein Glimmerblatt geſpalten und dann jedes der zwei Theile durch Berühren mit der Hand der Electricität beraubt, dann aber wieder zuſammengedrückt, ſo findet man ſie wieder nach dem Auseinandernehmen eben ſo electriſch wie nach der urſprünglichen Trennung. (Pogg. 12. 150.) Nach Dumas zeigt Boraxſäure, die in einem Platintiegel geſchmolzen worden iſt, hierauf aber feſt wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man ſelbſt bei Tage bemerken kann.

332. Die Temperaturänderung bewährt ſich als Mittel der Electricitätserregung bei guten und ſchlechten Leitern. Erhöhung der Temperatur wirkt gerade ſo wie die Trennung der Theile eines Körpers, es wird an der erwärmten Stelle die poſitive Electricität angehäuft, die negative abgeſtoßen, wie Becquerel durch folgenden Verſuch zeigt: Man bringe am Deckel eines guten Condenſators einen Platindraht an, deſſen über den Deckel hervorragendes Stück ſpiralförmig gebogen iſt, und erhöhe deſſen Temperatur bis zum Rothglühen. Berührt man nun die Baſis des Condenſators mit der Hand und die Spirale mit einem feuchten Papierſtreifen oder mit einem erhitzten Glasſtabe, ſo findet man den

Condenſatordeckel negativ, den Papierſtreifen ober dem Glasſtabe poſitiv electriſch. (Zeitſch. 10. 200.) Beſonders merklich zeigt ſich die Temperaturänderung bei Kryſtallen. Schon ſeit Langem weiß man, daß der Turmalin durch Erwärmen oder Erkalten electriſch werde, aber erſt in der neueſten Zeit hat man die dazu nothwendigen Bedingungen genau kennen gelernt. Ein Turmalin wird während der Erwärmung electriſch, wenn die Erwärmung in allen ſeinen Theilen gleichmäßig erfolgt, ſobald er 30° *C.* erreicht hat, und zwar an einer Hälfte poſitiv, an der anderen negativ, und wird dieſes immer mehr, je höher ſeine Temperatur ſteigt, doch darf ſie nicht ſtationär werden. Sobald ſie nicht mehr ſteigt, verſchwindet auch ſeine *E*, ſobald ſie abzunehmen beginnt, erſcheint der Kryſtall wohl wieder electriſch, doch hat, wenn die Erkaltung ſeine ganze Maſſe trifft, der Theil, welcher vorhin + *E* zeigte, nun — *E*. Der Übergang von einem electriſchen Zuſtande in den entgegengeſetzten erfolgt ſehr ſchnell. Die Stärke ſeiner *E* iſt ſeiner Erwärmungs- oder Erkaltungsgeſchwindigkeit nicht proportionirt. Iſt nur ein Theil eines Turmalins im Erwarmen oder Erkalten begriffen, ſo verhält er ſich ſo, als beſtünde der Kryſtall aus zwei Theilen, deren jeder für ſich einen eigenen, ſelbſtſtändigen, electriſchen Zuſtand annimmt, welcher dem des anderen Theiles entgegengeſetzt iſt. Doch zeigt er unter gewiſſen Umſtänden nur eine *E*, ohne daß man wahrnehmen könnte, was aus der anderen geworden iſt. Zerſchneidet man einen Turmalin, während er electriſch iſt, ſo erſcheint jedes Stück desſelben mit einer poſitiven und einer negativen Hälfte und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengeſetzte *E*. Man kann einen Turmalin ſelbſt zu Pulver zerſtoßen und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen electriſchen Zuſtandes von ſich geben. Es ſind aber nicht alle Turmaline der electriſchen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinſten am leichteſten electriſch. Turmaline, welche einer ſtarken Electriſirung fähig ſind, werden durch ſchnelle und durch langſame Erwärmung gleich electriſch. — Ähnliche Erſcheinungen bemerkt man auch an anderen, ſelbſt an künſtlich erzeugten Kryſtallen, beſonders an ſolchen, deren Kryſtallflächen an den zwei einander gegenüberſtehenden Enden nicht ſymmetriſch angeordnet ſind; es ſind aber nicht immer zwei electriſche Pole wie beim Turmalin, ſondern oft mehrere vorhanden. So hat ein Boracit, deſſen Kryſtallgeſtalt Fig. 299 vorſtellt, acht electriſche Pole, wenn er auch

nur eine Linie im Durchmeſſer hat. Einen Topaskryſtall fand Haüy an beiden Enden negativ, in der Mitte poſitiv electriſch. Auch iſt die zur Electricitätserregung nöthige Temperaturgränze nicht bei allen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° *C.* Galmei iſt ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme electriſch. (Zeitſch. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 628.)

Kryſtalle, an denen man durch Temperaturänderung Electricität erregen kann, ſind: Turmalin, Topas, Axinit, Boracit, Meſotyp, Prehnit, Zinkoxyd, Sphen, Scolecit, Meſolit, Kalkſpath, gelber Beryll, Schwerſpath, ſchwefelſaurer Strontian, kohlenſaures Blei, Diopſid, rother und blauer Flußſpath, Diamant, Auripigment, Analcim, Amethyſt, Quarz aus der Dauphiné, Idokras, Honigſtein, natürlicher Schwefel, Granat, Dichroit, weinſteinſaures Kali und Natron, Weinſteinſäure, kleeſaures Ammonium, chlorſaures Kali, Bitterſalz, ſchwefelſaures Ammonium, Eiſenvitriol, blauſaures Kali, Zucker, eſſigſaures Blei, kohlenſaures Kali, Citronenſäure, Queckſilberſublimat.

333. Die Änderungen des Aggregationszuſtandes ſind oft mit Electricitätsentwicklung verbunden. Nach Grotthuß wird ein von Außen mit Metall belegtes Glas, in welchem Waſſer ſehr ſchnell gefriert, poſitiv, beim ſchnellen Schmelzen des Eiſes hingegen negativ electriſch. Nach Einigen wird auch ein Gefäß, worin Waſſer verdünſtet, negativ electriſch, aber nach Pouillet geſchieht dieſes nur, wenn beim Verdünſten zugleich eine chemiſche Ausſcheidung Statt findet. Gießt man geſchmolzenen Schwefel in ein Glasgefäß, läßt ihn darin feſt werden und nimmt ihn dann heraus; ſo afficirt ſowohl er als das Glasgefäß ein Electroſcop und erſterer zeigt — *E*, letzteres + *E*. Dasſelbe iſt mit Chocolade und glaſiger Phosphorſäure der Fall. Auch die Lichtererſcheinung, die man oft bei der Kryſtallbildung wahrgenommen hat, ſcheint der dabei frei werdenden *E* anzugehören. Am ſchwefelſauren Kali, an der Benzoeſäure beobachtet man dieſes am leichteſten. (Schweigg. J. 40. 270; 41. 221. Kaſtn. Arch. 6. 472.)

334. Der Electricitäterregung bei Formänderungen analog iſt die aus chemiſchen Wirkungen hervorgehende; ja nach den Anſichten derer, welche das Wärmeprincip für materiell halten, iſt jede Formänderung ſchon ein chemiſcher Proceß; man muß aber bei der Behauptung, daß irgend eine *E* Erregung von einer chemiſchen Wirkung herrühre, ſehr vorſichtig ſeyn, indem in vielen Fällen blos

Contactelectricität im Spiele iſt; namentlich ſcheint dieſes faſt immer der Fall zu ſeyn, wenn zwei Körper ſich chemiſch mit einander verbinden. (Zeitſch. 3. 336.) Aber die von Pouillet beobachteten Erſcheinungen, daß Kohle, Waſſerſtoffgas ꝛc. beim Verbrennen negativ, die Verbrennungsproducte aber poſitiv electriſch werden, ſo wie einige von Becquerel bemerkte (Zeitſch. 4. 251. 3. 464. Schweigg. J. 40. 285) dürften ſich ſchwer aus der Electriſirung durch Contact erklären laſſen. Unzweideutig iſt der Einfluß der chemiſchen Wirkung auf *E* Erregung bei Zerſetzungen. Pouillet fand, daß reines Waſſer, Schwefelſäure, Salpeterſäure ꝛc. in einen glühenden Platintiegel getröpfelt keine Spur von *E* erregen, daß aber dieſe nie unterbleiben, wenn ſtatt dieſer Flüſſigkeiten ſolche gewählt werden, die beim Verdünſten eine Zerſetzung erleiden, wie z. B. Kalkwaſſer, Sodalauge. Ähnliche Phänomene gewähren viele Knallſalze beim Explodiren. Wirft man eine kleine Portion kleeſaures Silberoxyd in einen glühenden Platinlöffel, der mit einem Electroſcope in Verbindung ſteht; ſo bemerkt man am Electroſcope negative Electricität. Eben ſo zeigt Knallſilber, das durch concentrirtes Sonnenlicht oder durch Schwefelſäure explodirt, poſitive Electricität. (Schweigg. J. 51. 77.)

335. Es iſt kein Zweifel, daß in organiſchen Körpern unabhängig von der durch Berührung ihrer heterogenen Beſtandtheile entſtandenen Electricität auch noch durch die Lebensthätigkeit ununterbrochen Electricität erregt werde und große Phyſiologen haben die *E* als beſtändigen Begleiter des Lebensproceſſes angeſehen. Die Haare von Katzen, Pferden, ja ſelbſt von jungen Perſonen ſind oft ohne äußere Veranlaſſung ſo ſtark electriſch, daß ſie ſich abſtoßen und ſträubend in die Höhe ſtehen, Pflanzen ſah man im Zuſtande des intenſivſten Lebens Lichtfunken ausſtrahlen. Pouillet hat die durch Vegetation entwickelte *E* durch mehrere directe Verſuche beſtimmt. (Zeitſch. 6. 459.; Pogg. Ann. 11. 430.)

Sechstes Kapitel.

Electricität im Gleichgewichte (electriſche Spannung).

336. Um zur Kenntniß der Geſetze des Gleichgewichtes der E oder der electriſchen Spannung zu gelangen, muß man die Intenſität der E an jedem Puncte des Körpers, in welchem ſie ſich im Gleichgewichte befindet, ausmitteln können. Dieſe läßt ſich aber nicht wie die Dichte eines ſchweren Stoffes aus dem Gewichte erkennen, darum muß man ſie aus der Größe ihrer Wirkung abnehmen und ein Inſtrument kennen, das dieſe Wirkung mißt. Am beſten erkennt man aus der anziehenden und abſtoßenden Kraft eines electriſchen Körpers die Intenſität der E und mißt dieſe Kraft am zweckmäßigſten durch Coulomb's electriſche Drehwage oder durch Schwingungsverſuche. Coulomb's electriſche Wage hat (Fig. 304) dieſelbe Einrichtung wie ſeine magnetiſche, nur muß der Hebel *ab* aus einer ſchlecht leitenden Materie beſtehen, wozu man am beſten einen Schellackfaden nimmt, und an einem Ende *b* eine leitende Kugel oder eine kleine Scheibe von Goldpapier tragen. Am Nullpuncte der Eintheilung des cylindriſchen oder prismatiſchen Kaſtens ſteht eine leitende Kugel *f*, von gleichem Durchmeſſer mit *b*, die man auch wegnehmen und mit einer Goldpapierſcheibe erſetzen kann, die übrigens ſo eingerichtet iſt, daß man ihr von Außen Electricität mitzutheilen im Stande iſt.

337. Um die anziehende Kraft eines electriſchen Körpers mittelſt Schwingungsverſuchen zu beſtimmen, wird ein gut leitendes, kurzes Stäbchen an einen langen, feinen, iſolirenden Seidenfaden aufgehängt, dem electriſchen Körper nahe gebracht, damit ſie von ihm durch Vertheilung electriſirt werde, in Schwingungen verſetzt und die Zahl der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Schwingungen angemerkt. Das Quadrat dieſer Schwingungsanzahl iſt dann der anziehenden Kraft des electriſchen Körpers proportionirt. Um mit dieſem Inſtrumente die Größe der electriſchen Abſtoßung zu meſſen, theilt man der Kugel *f* und durch ſie der berührenden Scheibe des Hebels E mit, worauf dieſe ſich abſtoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine beſtimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung des oberen Zeigers eine Windung nach einer der Abſtoßung entgegengeſetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abſtoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von ſeiner natürlichen Lage vergleichen; ſo darf man nur die nöthigen Windun-

gen des Drahtes durch die Größe des Abſtoßungswinkels vermehren und die Zahlen verhalten ſich, wie die Repulſionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 18 ° ertheilen müſſen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; ſo verhalten ſich die Repulſionen wie 70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195. Auf ähnliche Weiſe verfährt man beim Meſſen der electriſchen Anziehung. Zum Übertragen der Electricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die Kugel *f* dient am beſten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an den man es hält. Dieſe heißt darum auch die **Probeſcheibe**.

338. Die abſtoßenden und anziehenden Kräfte ſind bei gleichen Entfernungen den Intenſitäten der *E* direct proportionirt und ihr angemeſſenſter Maßſtab. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine iſolirte Kugel electriſirt, ſie dann mit der Probeſcheibe berührt, ihre Electricität in die **Coulomb'ſche** Wage überträgt und die Größe der Abſtoßung beſtimmt. Berührt man dieſe Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, ſo wird offenbar die Electricität jedes ihrer Puncte auf die Hälfte reducirt; wenn man dann wieder die Größe ihrer abſtoßenden Kraft beſtimmt, ſo findet man ſie auch nur halb ſo groß, als im erſteren Falle. Bei ungleichen Entfernungen befolgen die Anziehungen und Abſtoßungen ein anderes Geſetz, das man leicht ausmittelt, wenn einmal bekannt iſt, in welchem Verhältniſſe die electriſche Kraft abnimmt, wenn die Entfernungen in einem gewiſſen Verhältniſſe wachſen. Dieſes Geſetz hat **Coulomb** mit ſeiner Drehwage ausgemittelt und **Egen** hat die Richtigkeit ſeiner Reſultate durch ſehr genaue Verſuche beſtätiget. Zu dieſem Zwecke machte **Coulomb** folgenden Verſuch: Er drehte den Hebel *ab* mittelſt des Knopfes *e* ſo, daß die Kugel *b* die *f* ohne Windung des Drahtes berührte, theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Electricität (mittelſt des Kopfes einer iſolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° von *f* abgeſtoßen wurde. Drehte er nun mittelſt des Knopfes *e* den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreiſe des größeren Cylinders; ſo fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abſtand. Es verhielt ſich daher die Stärke der electriſchen Kraft in beiden Abſtänden wie 36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4, die Abſtände waren aber im Verhältniſſe 2 : 1. Auf ähnliche Art verfuhr er, um das

Geſetz der Anziehung zu finden, welches zwiſchen Körpern, deren electriſche Zuſtände einander entgegengeſetzt ſind, Statt findet, und überzeugte ſich, daß ſowohl für electriſche Abſtoßung als für Anziehung das Geſetz gilt: Die Stärke der Kraft ſteht im verkehrten Verhältniſſe mit dem Quadrate der Entfernung. Es herrſcht demnach von dieſer Seite für Electricität und Magnetismus dasſelbe Geſetz. (Suppl. 782—788.)

339. Da man bei Verſuchen über die Anordnung der *E* in einem Körper nur einen Punct nach dem anderen unterſuchen kann; ſo iſt klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwiſchenzeit der Körper einen Theil ſeiner *E* verloren hätte und man nicht darauf Rückſicht nähme. Ein ſolcher Verluſt iſt aber unvermeidlich, indem auch der auf das beſte iſolirte Körper theils den iſolirenden Stützen, theils der Luft, beſonders wenn ſie feucht iſt, immer etwas von ſeiner *E* mittheilt. Man wird alſo nur dann bei Verſuchen über die Anordnung der *E* in einem Körper zu einem richtigen Reſultate gelangen, wenn man im Stande iſt, dieſen Verluſt in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall iſt, wenn man das Geſetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

340. Um das Geſetz des *E* Verluſtes leichter kennen zu lernen, hat Coulomb den Verluſt durch die unvollkommen iſolirenden Stützen von dem durch die Luft abgeſondert. Er überzeugte ſich zuerſt davon, daß eine Schellackſtange von $\frac{1}{2}$ L. Dicke und 18—20 L. Länge eine mäßig electriſirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmeſſer 5—6 Linien beträgt, vollkommen iſolire, denn ihr Electricitätsverluſt war gleich, ſie mochte durch ein oder durch mehrere ſolche Stängelchen getragen werden. Würde daher eine Schellackſtange, wie die angegebene, als Hebel *ab* gebraucht, und die genannte Hollundermarkkugel an die Stelle *b* geſetzt; ſo konnte man gewiß ſeyn, daß der Electricitätsverluſt, den *b* erleidet, blos auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieſer Verluſt in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſtets der Intenſität der *E* proportionirt, übrigens aber vom Leitungsvermögen des electriſchen Körpers und bei einer geringen electriſchen Spannung auch von der Geſtalt dieſes Körpers unabhängig ſey. — Da er nun den *E* Verluſt einer Kugel kannte, die mittelſt einer Schellackſtange vollkommen iſolirt war und daher blos der Luft *E* abgeben konnte; ſo brauchte er nur den Verluſt desſelben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasſtange getra-

gen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verluſt durch die Luft abzuziehen, um den Verluſt durch unvollkommene Iſolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand Coulomb, daß ſich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umſtänden nach der Intenſität der E richte und ſo wie dieſe Intenſität abnehme. — Man ſieht hieraus, daß für ſehr kleine Grade der Electricität faſt alle Körper völlige Nichtleiter ſind, ſo daß es gar nichts Ungereimtes wäre zu behaupten, es befinde ſich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewiſſes Quantum freier Electricität.

Bei einem von Coulomb angeſtellten Verſuche, wo der Verluſt blos durch die Luft erfolgte, war die abſtoßende Kraft der E einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach 1 Minute mußte man dieſe Windung um 6° vermindern, um denſelben Abſtoßungswinkel zu erhalten, ſo daß nun die Abſtoßung nur einer Windung von 264° entſprach. Die mittlere Electricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270+264}{2} = 267°$ proportionirt und von dieſer betrug der 6° entſprechende Verluſt $\frac{6}{267} = \frac{1}{44 \cdot 5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieſer Verluſt in 1 M. in der Regel $\frac{1}{60} - \frac{1}{70}$, bei feuchter Luft ſteigt er oft auf $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung.

341. Wenn einem leitenden Körper E mitgetheilt wird, ſo ſammelt ſich dieſe ganz auf ſeiner Oberfläche und bildet daſelbſt eine dünne Schichte. Davon überzeugt man ſich durch viele Verſuche. Deckt man die Oberfläche einer Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit iſolirten Handgriffen verſehenen Schalen und theilt ihr dann E mit; ſo findet man ſie nach Wegnahme dieſer Schalen ganz ohne E, zum Beweiſe, daß die E in den Schalen, mithin an der Oberfläche, ihren Sitz hat. Electriſirt man eine mit einem Loche verſehene Kugel, ſo zeigt eine in dieſes Loch geſenkte Probeſcheibe, nachdem man ſie ſorgfältig herausgenommen hat, keine Spur von E. An der Oberfläche des Körpers wird die E nicht etwa durch eine beſondere Anziehungskraft, ſondern blos durch die Luft, welche ein ſchlechter Leiter iſt, zurückgehalten. Daß dabei keine Anziehung im Spiele ſey und daher verſchiedene Körper nicht eine verſchiedene Capacität für die E beſitzen, in dem Sinne, wie dieſes von der Wärme gilt, erkennt man daraus, daß eine Kugel von einer anderen electriſirten gleich viel E aufnimmt, ſie mag aus was immer für einem Materiale beſtehen, ſie mag hohl oder maſſiv ſeyn, wenn

nur die Größe der Oberfläche in allen dieſen Fällen dieſelbe iſt. Daß aber die Luft wegen ihrer ſchlechten Leitungsfähigkeit die E zurückhalte, beweiſet der Umſtand, daß ein Körper im luftleeren Raume ſeine E augenblicklich verliere und daß dieſe in verdünnter Luft deſto leichter von einem Körper in einen anderen durch die Luft übergehe, je weiter die Verdünnung getrieben iſt.

342. Die Electricität ordnet ſich auf der Oberfläche eines Körpers immer ſo an, daß die Wirkungen der einzelnen Elemente derſelben auf einen Punct im Innern der Maſſe des Körpers ſich gegenſeitig aufheben; denn wäre dieſes nicht ſo, dann müßte durch Mittheilung der E die in einem Körper befindliche $\pm E$ zerſetzt werden, welches nicht der Fall iſt. Dieſes Geſetz gibt die Grundlage der Rechnungen über die Anordnung der E in leitenden Körpern ab und führt zu Reſultaten, welche durch die Erfahrung auf das genaueſte beſtätigt werden. Verſuche lehren z. B., daß die E auf einer Kugel nach allen Seiten eine gleich dichte Schichte bilde und obiges Geſetz führt zu demſelben Reſultate, wie man ſich leicht auf folgende Weiſe überzeugen kann. Es ſey Fig. 303 ein größter Kreis einer Kugel, in welchem zwei, unter einem kleinen Winkel ſich ſchneidende Sehnen ab und de gezogen ſind. Man denke ſich mit dem Durchmeſſer ad und be auf der Oberfläche der Kugel Kreiſe beſchrieben und unterſuche die Dichte der daſelbſt angehäuften E unter obiger Bedingung. Es ſey die Dichte der Electricitätsſchichte in ad gleich I, die in be gleich i und daher $I \cdot ad^2$ und $i \cdot be^2$ die daſelbſt angehäufte Electricitätsmenge; die Wirkung auf c von Seite der erſteren muß gleich $\frac{I \cdot ad^2}{ac^2}$ und von Seite der letzteren gleich $\frac{i \cdot be^2}{bc^2}$ ſeyn, und man hat $\frac{I \cdot ad^2}{ac^2} = \frac{i \cdot be^2}{bc^2}$. Allein es iſt $\frac{ad}{bc} = \frac{be}{bc}$ mithin auch $I = i$. An einem elliptiſchen Körper verhält es ſich anders. Da hat die E an den mehr gekrümmten Stellen eine größere Dichte als an den minder gekrümmten, ſo zwar, daß, wenn eine Axe des Ellipſoides etwa zehnmal größer iſt, als die andere, die E an den Endpuncten jener 100 mal dichter iſt als an den Endpuncten dieſer. An zugeſpitzten Körpern iſt der Unterſchied der Dichte der E gar groß, ja die Rechnung zeigt, daß die Dichte an einer Spitze unendliche Male größer ſey, als an den flachen oder abgerundeten Stellen desſelben Körpers, ſo daß man daraus recht wohl begreift, warum die E an den Spitzen ſtets im Stande ſey, die ſchlecht lei-

tende Luft zu durchbrechen und daſelbſt abzufließen, und auch, warum die *E* durch Spitzen ſo leicht aufgenommen werde. Werden zwei ſich berührende Kugeln von ungleicher Größe electriſirt; ſo erhält ihre Berührungsſtelle gar keine Electricität, in einiger Entfernung davon beginnt dieſe merklich zu werden, wächſt aber bei der kleineren ſchneller als bei der größeren und der Berührungsſtelle entgegengeſetzt erhält die kleinere mehr Electricität als die größere. Hebt man die Berührung der Kugeln auf, ſo vertheilt ſich die Electricität auf jeder derſelben gleichförmig, doch erſcheint ſie auf der kleineren in dem Maße ſtärker als auf der größeren, als ihr Durchmeſſer kleiner iſt, das Verhältniß der Electricitätsintenſitäten überſchreitet aber nie jenes von 1:1.65. Auch dieſe Vertheilung der Electricität in beiden Kugeln iſt von der Natur und Größe ihrer Maſſe unabhängig.

343. Unterſucht man die Intenſität der *E* eines Körpers an verſchiedenen Puncten zu verſchiedenen Zeiten, nachdem er entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Iſolirung einen Theil ſeiner *E* verloren hat; ſo überzeugt man ſich, daß das Verhältniß dieſer Intenſitäten an verſchiedenen Puncten ſtets dasſelbe bleibt, die abſolute Menge der *E* mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Dieſe Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der *E* auch jedes Element des electriſchen Körpers doppelte oder dreifache *E* bekomme und daß ſich größere und kleinere Electricitätsmengen ſtets nach demſelben Geſetze anordnen und ins Gleichgewicht treten.

344. Bisher wurde ſtets vom Gleichgewichte der mitgetheilten *E* geſprochen, die immer entweder nur poſitiv oder negativ iſt. In Körpern, in welchen die eigene *E* frei geworden iſt, kommen aber oft beide *E* zugleich vor und befolgen eigene Geſetze des Gleichgewichts. Dieſes iſt z. B. an erwärmten Kryſtallen, an den durch Vertheilung electriſirten Körpern, an der Leidnerflaſche und an der Volta'ſchen Säule ꝛc. der Fall. Da läßt ſich immer eine Stelle angeben, welche ohne *E* erſcheint und daher i n d i f f e r e n t e Stelle heißen kann; zu beiden Seiten dieſer herrſchen die beiden entgegengeſetzten electriſchen Zuſtände. An den durch Erwärmung oder durch Vertheilung electriſirten Körpern, an der Volta'ſchen Säule iſt die Intenſität jeder *E* deſto größer, je weiter die entſprechende Stelle von der indifferenten Ebene entfernt iſt, und hat daher an den äußerſten Enden des Körpers die größte Stärke. Solche Kör-

per verhalten ſich demnach wie Magnete und haben auch, wie dieſe, Pole.

345. Eine Leidnerflaſche erſcheint immer an der Belegung, der man + *E* mitgetheilt hat, mit poſitiver *E*, an der entgegengeſetzten aber mit negativer. Die Intenſität beider kann durch Laden ſo weit geſteigert werden, als der durch die ſchlechte Leitungsfähigkeit begründete Widerſtand des Glaſes, durch welches ſich + *E* und — *E* mit einander vereinigen wollen, geſtattet. Die Electricität iſt aber nicht an allen Theilen gleich ſtark, ſondern wächſt an beiden Belegungen gegen die indifferente, im Glaſe liegende Stelle zu.

346. Daß an einem Volta'ſchen Elemente beide Electricitäten vorkommen, iſt bekannt, ſo wie daß ihre Stärke nicht von der Größe der Platten, ſondern von der Stelle abhängt, welche die zwei Metalle des Elementes in der electromotoriſchen Reihe einnehmen. Jede der zwei Electricitäten iſt aber an der Berührungsſtelle am ſtärkſten und es ſcheint, als wirkten die zwei Platten durch die von der Berührung herſtammende Electricität condenſirend auf einander (Fechner in Schweigg. J. 55. 223). Verbindet man die beiden Beſtandtheile der Kette mit einem ſchlechten Leiter, ſo wird am electriſchen Zuſtande derſelben nichts geändert, dasſelbe erfolgt auch, wenn man einen Halbleiter als Verbindungsmittel braucht, aber der Halbleiter nimmt ſelbſt einen beſonderen electriſchen Zuſtand an. Wird z. B. ein mit Zink zuſammengelötheter Kupferſtreifen halbkreisförmig gebogen und von einem Ende des Halbkreiſes zum anderen mit reinem Waſſer durchnäßtes Papier, Asbeſt oder Baumwolle geſpannt, hierauf die Kupferplatte mit der Hand gehalten und ſowohl die Zinkplatte als auch verſchiedene Stellen des Halbleiters mittelſt eines Condenſators unterſucht; ſo findet man das Zink eben ſo ſtark poſitiv electriſch, als wäre der Halbleiter gar nicht damit in Verbindung, dieſer ſelbſt hat in der Nähe des Zinkes + *E* von gleicher Stärke mit dem Zink, in einiger Entfernung davon geringere Electricität, in der Nähe des Kupfers aber gar keine. Eben ſo findet man, wenn man das Zink in der Hand hält, das Kupfer, in Betreff ſeiner negativen Electricität, und im Halbleiter iſt — *E* ebenſo angeordnet wie vorher + *E*, ſeine am ſtärkſten electriſche Stelle befindet ſich in der Nähe des Kupfers, in der Nähe des Zinkes hingegen befindet er ſich im natürlichen Zuſtande. Berührt man weder die Zink- noch die Kupferplatte und unterſucht den Halbleiter,

ſo findet man ihn in der Nähe der Zinkplatte poſitiv, in der Nähe der Kupferplatte negativ electriſch.

347. An einer thätigen, iſolirten Volta'ſchen Säule zeigt der Zinkpol mittelſt eines Electroſcops $+ E$, der Kupferpol $- E$ und beide Electricitäten erſcheinen gleich ſtark. Deßhalb heißt auch jener der poſitive, dieſer der negative Pol der Säule. Eben ſo zeigt jede andere Zinkplatte der Säule wenigſtens mittelſt des Condenſators $+ E$, jede Kupferplatte $- E$; die Intenſität jeder E nimmt mit der Entfernung der Platte von jenem Pole, der mit ihr gleichnamige E hat, in einer arithmetiſchen Reihe ab. Iſt ein Pol der Säule mit der Erde in leitender Verbindung, ſo ſteigt die Spannung des anderen auf das Doppelte und dann zeigt die Säule nur die Electricität des letzteren Poles. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflaſche von beliebiger Größe mit einem Pole, und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; ſo wird dieſe ſchnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen iſt. Van Marum lud auf dieſe Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er ſonſt mehrere Umdrehungen ſeiner Rieſenmaſchine gebraucht hätte. Eine trockene Säule verhält ſich wie eine naſſe, jedoch iſt ihre Spannung kleiner als die einer naſſen von einer gleichen Anzahl Platten. Man kann auch mit einer ſolchen Säule eine Leidnerflaſche oder eine Batterie laden, aber die Ladung erfolgt nicht augenblicklich, ſondern man braucht dazu eine merkliche Zeit. Werden die Pole einer thätigen Volta'ſchen Säule durch einen Halbleiter verbunden, ſo treten Phänomene ein, welche mit den an einer einfachen Kette unter denſelben Verhältniſſen bemerkbaren völlig übereinſtimmen; der Halbleiter erſcheint, ſo wie die Säule, mit zwei Polen, ſeine poſitive Spannung nimmt vom Zink zum Kupfer ab, ſeine negative hingegen in derſelben Richtung zu; er behält dieſen Zuſtand ſelbſt noch einige Zeit bei, wenn er von der Säule getrennt iſt. Eine abwechſelnde Lage von Metallplatten und feuchten Leitern verhält ſich auch ſo wie ein Halbleiter. Wird eine Säule aus ſolchen mit befeuchteten Tuchlappen wechſelnden Platten mit den Polen einer Volta'ſchen Säule in Verbindung geſetzt und nach einiger Zeit wieder getrennt; ſo erſcheint ſie wie die Volta'ſche Säule geladen und bringt alle Phänomene hervor, die man an ſolchen Säulen bemerkt. Dasſelbe erfolgt, wenn man die Säule mit dem Reibzeuge und dem Conductor einer in Gang geſetzten Elec-

triſirmaſchine einige Zeit hindurch in Verbindung läßt. Man nennt ſie darum Ladungsſäule oder ſecundäre Säule. Ritter hat ſie zuerſt conſtruirt (Gilb. Ann. 19. 488). Einer ſolchen Säule ähnlich iſt ein etwa $\frac{1}{4}$ Linie dicker Silberdraht, deſſen beide Enden man abwechſelnd, eines mit dem poſitiven, das andere mit dem negativen Pole einer ſtarken Säule in Verbindung gebracht und dieſes etwa 1 Stunde lang fortgeſetzt hat. Da erſcheint mittelſt eines guten Condenſators jedes Drahtende mit einer electriſchen Spannung und zwar das eine mit poſitiver, das andere mit negativer. (Zeitſch. 9. 241.)

Fünftes Kapitel.

Electricität in Bewegung (electriſcher Strom).

348. Wenn die in einem Körper angeſammelte E nicht durch ſchlechte Leiter zurückgehalten wird, ſo fließt ſie ab und der Körper kehrt in den natürlichen Zuſtand zurück, falls er nicht in ſich ſelbſt die Quelle eines fortwährenden Electriſchwerdens hat. Man ſtellt ſich vor, dieſe Fortpflanzung gehe ſo vor ſich, daß das erſte Element des guten Leiters, durch welchen ſie erfolgt, durch Vertheilung electriſirt werde und an die E, welche die Vertheilung bewirket, die ihr entgegengeſetzte E abgebe. Dadurch wird die ihr gleichnamige E frei und wirkt eben ſo auf das $\pm E$ des folgenden Elementes des Leiters, wie auf das erſte Element gewirkt wurde. Auf dieſe Weiſe iſt das Abfließen der E eines Körpers das Reſultat einer immer weiter fortſchreitenden Zerſetzung und Zuſammenſetzung der $\pm E$ und dieſes Fortſchreiten nennt man den electriſchen Strom. Oft pflanzen ſich zwei entgegengeſetzte E in entgegengeſetzten Richtungen durch einen Körper fort, in welchem Falle die Phänomene des Stromes beſonders auffallend ſind.

349. Um in einem Körper, der beide E zugleich enthält, den electriſchen Strom zu erregen, braucht es nichts, als daß man die mit entgegengeſetzten E verſehenen Stellen durch einen guten Leiter verbinde. In einer geladenen Leidnerflaſche wird der electriſche Strom eingeleitet, indem man ihren Knopf mit der äußeren Belegung in leitende Verbindung ſetzt, bei einer Electriſirmaſchine mit iſolirten Reibzeugen, indem man die Reibzeuge mit dem Conductor, und in einer Volta'ſchen Säule, indem man die beiden Pole mit

einander leitend verbindet. Bei der Volta'ſchen Säule, wohl auch bei der einfachen Kette, braucht man dazu Metalldrähte, die entweder ununterbrochen von einem Pole zum anderen gehen und mit denſelben in genauer leitender Verbindung ſtehen, oder auch unterbrochen ſind, um mittelſt ihrer den Strom durch irgend einen anderen Körper leiten zu können. Man nennt ſie Leitungsdrähte, Schließungsdrähte oder Polardrähte und ſagt, wenn dieſe Drähte die beiden Pole leitend verbinden, die Säule, wohl auch die Kette, ſey geſchloſſen. Bei einer Leidnerflaſche bedient man ſich zu demſelben Zwecke ſogenannter Auslader. Dieſe beſtehen aus Drähten, welche an einem Ende mit leitenden Kugeln verſehen, am anderen um eine Charnier beweglich ſind und mittelſt eines gläſernen Handgriffes gefaßt werden können. Vorzüglich bequem iſt Henley's allgemeiner Auslader, an welchem die zwei mit den Belegungen der Flaſche zu verbindenden Metalldrähte ſo eingerichtet ſind, daß man den Strom durch einen beliebigen Körper leiten kann. Fig. 306 ſtellt ihn vor. Man kann einen electriſchen Strom auf mehreren Wegen fortzuleiten ſuchen. Kann er mehrere Wege zugleich einſchlagen, welches z. B. geſchehen wird, wenn man gleichzeitig mehrere Polardrähte oder mehrere Auslader anwendet, ſo vertheilt er ſich unter alle dieſe nach ihrer Leitungsfähigkeit. Sind ſie alle gleich gute Leiter, ſo vertheilt ſich der Strom in alle gleich; iſt ihre Leitungsfähigkeit ungleich, ſo geht durch den beſſeren Leiter ein ſtärkerer Strom als durch den ſchlechteren. Da, wie die Folge zeigen wird, ein längerer Leiter eben dadurch ſchon ſchlechter leitet als ein kürzerer, ſo wird bei ungleich langen Leitern von ſonſt gleicher Beſchaffenheit doch durch den kürzeren ein ſtärkerer Strom gehen. Die Electricität kann ſich auch durch den leeren Raum fortpflanzen, indem dieſer, ſeiner Natur nach, kein poſitives Hinderniß abgeben kann. Zu Verſuchen hierüber liefert jedes gute Barometer die nöthige Vorrichtung.

350. An einer Leidnerflaſche dauert der electriſche Strom nur eine ſo kurze Zeit, daß man ihn faſt für momentan halten kann, wenigſtens hat man an einem 2 engl. Meilen langen Drahte, welcher die beiden Belegungen einer Leidnerflaſche verband, keine Spur einer ſucceſſiven Fortpflanzung bemerkt. Deßungeachtet iſt eine ſtark geladene Leidnerflaſche nie ſchon nach der erſten Berührung mit dem Auslader vollkommen entladen, ſondern man bemerkt oft bei einer zweiten, nicht ſelten ſogar bei einer dritten Entladung noch Spu-

ren eines electriſchen Stromes. Auf ein ſehr empfindliches Electroſcop wirkt eine Leidnerflaſche ſelbſt noch nach vielen Berührungen mittelſt des Ausladers zum Beweiſe, daß ihr noch einige electriſche Spannung übrig geblieben ſey. — An einer Electriſirmaſchine, deren Reibzeug mit dem Conductor leitend verbunden iſt und die fleißig in Thätigkeit erhalten wird, iſt der Strom fortdauernd. Am continuirlichſten erſcheint er aber an einer geſchloſſenen Volta'ſchen Säule, weil dieſe ſich faſt augenblicklich wieder ladet und das erſetzt, was ſie durch den Polardraht verloren hat. In einer ſolchen liefert jedes Element ſeinen beſonderen Strom nach derſelben Richtung, für den Strom jedes Elementes geben alle übrigen Elemente den Schließungsdraht ab und der geſammte Strom iſt gleichſam die Summe der Ströme aller einzelnen Elemente. Wenn der Schließungsdraht gut genug leitet, ſo bemerkt man an ihm, ſobald die Kette geſchloſſen iſt, keine Spur einer Wirkung auf das Electroſcop. Nur wenn der Draht nicht alle E abzuleiten vermag, bleibt ein Theil ihrer Spannung zurück und gibt ſich durch das Electroſcop, wenigſtens mittelſt eines Condenſators, zu erkennen. Eine trockene Säule erlangt die durch einen Polardraht abgeleitete E nicht ſo ſchnell wieder, ſondern ſie braucht dazu einige Zeit, daher iſt auch der Strom durch einen Polardraht, der bleibend die beiden Pole verbindet, nicht ſo ununterbrochen, wie bei der naſſen Volta'ſchen Säule. Letztere gibt daher unter günſtigen Umſtänden allein einen völlig ununterbrochenen Strom und wird demnach auch nur allein im Stande ſeyn, jene Wirkungen hervorzubringen, die eine dauernde, ununterbrochene Einwirkung der E fordern. Übrigens bleibt ein ſolcher electriſcher Strom unverändert, wenn er auch durch einen Raum geht, welcher zugleich von anderen Strömen nach beliebigen Richtungen durchgangen wird. (Zeitſch. 7. 337, 351.)

351. Der electriſche Strom wirkt zwar zunächſt auf den Körper, durch welchen er geht, aber er übt unter gewiſſen Umſtänden auch einen Einfluß in die Ferne aus. Die Wirkungen der erſten Art ſind: Erſchütterung und Affection der Sinne (phyſiologiſche Wirkungen), Licht- und Wärmephänomene, mechaniſche und chemiſche Veränderungen; die Wirkungen der zweiten Art beziehen ſich auf gewiſſe Bewegungen magnetiſcher oder des Magnetismus fähiger Körper.

A. Wirkungen des electriſchen Stromes in Körpern, durch die er geht.

352. Wenn man einen hinreichend ſtark electriſchen Körper mit den Fingern oder mit einem anderen Theile des Körpers berührt; ſo empfindet man, beſonders in den Gelenken, durch welche der electriſche Strom geht, einen Stoß, der die Folge der fortſchreitenden Zerſetzung und Zuſammenſetzung der natürlichen *E* in den Organen des Körpers zu ſeyn ſcheint. Vorzüglich empfindlich wird dieſer Stoß, wenn beide *E* in entgegengeſetzten Richtungen ihren Weg durch den Körper nehmen. Dieſes iſt der Fall, wenn man z. B. mit einer Hand den Conductor einer ſtarken Electriſirmaſchine, mit der anderen die Reibzeuge berührt, beſonders aber, wenn man zugleich mit den beiden Belegungen einer geladenen Leidnerflaſche oder mit den beiden Polen einer Volta'ſchen Säule in leitende Verbindung tritt. Die Erſchütterung durch die Entladung einer Leidnerflaſche von einiger Größe hat faſt in dem Augenblicke Statt, wo die Entladung erfolgt, iſt aber auch faſt nur momentan, wie der electriſche Strom. Sie kann durch eine große Anzahl Perſonen, die ſich mit den Händen faſſen und einen zuſammenhängenden Leiter bilden, geleitet werden. Der durch eine große Flaſche oder gar durch eine Batterie erzeugte Stoß kann eine Lähmung, Blutſpeien und andere Übel hervorbringen; man kann dadurch ſogar Thiere tödten. Eine große Flaſche mit geringer Ladung kann einen eben ſo wirkſamen Stoß ertheilen, wie eine kleine, ſtark geladene, doch will man in der Natur dieſer Stöße einen Unterſchied bemerkt haben. — Eine Volta'ſche Säule gewährt in Betreff der Erſchütterung, die ihre Entladung erzeugt, beſondere Phänomene, weil ſie einen anhaltenden electriſchen Strom liefert. Berührt man mit den Fingern, die durch eine Salzauflöſung leitend gemacht worden ſind, die beiden Pole der Säule und ſchließt die Kette durch den Körper; ſo empfindet man einen Schlag, wie aus einer Leidnerflaſche, der aber, wenn die Säule ſtark genug iſt, durch längere Zeit mit kleinen Unterbrechungen anhält. Beim Öffnen der Kette tritt ein ähnlicher Stoß ein. Das Verhältniß der Stärke dieſer Schläge hängt von der Richtung des Stromes gegen den Verlauf der durch ihn afficirten Nerven ab. Geht er dem Verlaufe des Nerves nach, ſo haben beide Erſchütterungen, die beim Schließen und die beim Öffnen der Kette erregte einerlei Stärke, hat er aber eine entgegengeſetzte

Richtung, ſo iſt die letztere ſchwächer als die erſtere, doch iſt der Unterſchied nicht für alle Individuen gleich groß (Zeitſch. 8. 90). Der Schlag einer Volta'ſchen Säule kann durch mehrere Perſonen, die ſich mit feuchten Händen faſſen, geleitet werden; an wunden Stellen iſt die Affection beſonders ſchmerzhaft. Wenn die Säule ſehr ſtark iſt, ſo wirkt ſie ſchon auf die Finger, wie ein heißer Körper. Dieſe Schläge ſind bei der derſelben Säule ſtärker, wenn man zuerſt ein Stück Metall anfaßt und mit dieſem die Pole berührt, wahrſcheinlich, weil da auch die Berührungsfläche größer iſt. Übrigens richtet ſich die Stärke der Stöße vorzüglich nach der Anzahl der Plattenpaare, aus denen die Säule beſteht und wächſt mit dieſer. Bei einer Säule von 10—20 Paaren bekommt man ſchon einen geringen Schlag; großplattige Apparate wirken hierin faſt wie die mit kleinen Platten, denn die größte, bekannte Säule, welche Children erbaute und die aus 20 Doppelplatten von 6 F. Länge und 2⅔ F. Breite beſtand, äußerte auf das Electroſcop und auf den menſchlichen Körper keine größere Wirkung, als eine Säule von eben ſo vielen, kleinen Platten. Eine Säule von 10 Elementen, mit Platten, deren jede 4 Q. Fuß hat, wie ſie das hieſige Muſeum beſitzt, gibt gar keinen wahrnehmbaren Schlag. Eine Zamboniſche Säule gibt nie einen bemerkbaren Stoß.

Schläge, denen einer Leidnerflaſche ähnlich, erhält man auch beim Berühren einiger Fiſche, wie z. B. des Zitteraals *(Gymnotus electricus)*, des Zitterrochens *(Raja Torpedo)*, Zitterwels *(Selurus electricus)*, des Stachelbauches *(Tetrodon elect.)*, des elect. Spitzſchwanzes *(Trichiurus indicus)*. Dieſer Schlag erfolgt immer beim Berühren des Thieres mit guten *E* Leitern und erſtreckt ſich durch einen Kreis mehrerer Perſonen wie jeder andere electriſche Schlag, doch konnte man bis jetzt an ſolchen Thieren keine electriſche Spannung bemerken. Sehr wahrſcheinlich wird da die Electricität durch den Lebensproceß mit Hülfe einer beſondern, von den Naturforſchern bereits unterſuchten Organiſation erzeugt; es dürften aber alle Bemühungen, eine vollkommene Ähnlichkeit dieſer Organe mit den Elementen einer Volta'ſchen Säule oder mit Leidnerflaſchen aufzufinden, vergeblich ſeyn. (Gilb. Ann. 22. 1; 25. 34.)

353. Der electriſche Strom erzeugt in einem thieriſchen Körper eine Contraction und Expanſion der Muskelfaſern, durch welche höchſt wahrſcheinlich erſt die eigenthümliche Empfindung, welche den electriſchen Stoß begleitet, hervorgebracht wird. Von dieſer

Wirkung überzeugt man ſich am leichteſten an den Hinterſchenkeln eines jüngſt getödteten Froſches, von denen man die Haut abgezogen hat. Leitet man durch dieſe einen electriſchen Strom, der ſich auch nicht durch den geringſten Stoß mehr zu erkennen gibt; ſo treten in dieſen Schenkeln Zuckungen ein und zwar nach Maßgabe der größeren oder kleineren Vitalität des Thieres und der Richtung des Stromes, wie die vorher erwähnten Erſchütterungen, entweder beim Schließen und Öffnen der Kette oder nur bei erſterem oder bei letzterem allein. (Marianini in Zeitſch. 5. 433; Nobili ebend. 8. 230; 9. 110; Matteucci ebend. 9. 486.) Da ſchon die kleinſte einfache Kette ſolche Contractionen bewirkt, wie z. B. wenn man mit einem Kupferſtücke den Muskel eines Schenkels, mit einem Zinkſtücke den Nerv desſelben berührt und die Metalle ſelbſt mit einander in Berührung ſetzt; ſo iſt ein Froſchſchenkel ein ungemein empfindliches Prüfungsmittel für einen electriſchen Strom; er war ſogar die erſte Veranlaſſung, die zur Entdeckung der Contactelectricität führte.

Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Phyſik zu Bologna, hatte von ungefähr entdeckt, daß ein Froſch, dem die Haut abgezogen war und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von ſich gab, in convulſiviſche Bewegungen gerieth, wenn er in eine electriſche Atmoſphäre kam, während man dem electriſchen Körper Funken entzog und zugleich den Froſch mit einem Leiter der Electricität berührte. Er wollte dieſem Einfluſſe der *E* weiter nachſpüren und bereitete ſich zu dieſem Zwecke Fröſche, indem er ſie tödtete, ihnen die Haut abzog und die Cruralnerven entblößte. Einſt hing er ſolche Fröſche mittelſt kupferner Haken an eine eiſerne Terraſſe auf und fand, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn ſie das Eiſen berührten. Galvani widmete dieſer Erſcheinung eine beſondere Aufmerkſamkeit und fand, daß man dieſe Zuckungen am leichteſten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verſchiedenen Metallen berührt, die Metalle aber ſelbſt mittelſt eines guten Leiters der *E* in Verbindung ſetzt, daß ſie aber alſogleich ausbleiben, wenn man ſtatt der Metalle einen ſchlechten Leiter anwendet. Dieſes mit obiger Erfahrung zuſammengehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene *E* in Umlauf geſetzt werde und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieſelben Verſuche mit kritiſchem Blicke, und fand ſich durch die dabei Statt findenden Erſcheinungen veranlaßt, die Sache umzukehren und anſtatt die Metalle als bloße Leiter und den animaliſchen Körper als Erreger der

E anzuſehen, erſtere als Erreger der *E* und letzteren als bloßen Ableiter derſelben zu betrachten. Dazu vermochte ihn beſonders der Umſtand, daß die Zuckungen an einem Froſche ſehr ſchwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß ſich zwei iſolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer beſteht, während und nach ihrer Berührung mittelſt des Condenſators electriſch zeigen. Einem Froſchſchenkel ähnlich verhalten ſich auch die Organe anderer jüngſt verſtorbener Thiere, ja man wollte ſogar aus dem Eintreten oder Unterbleiben der Contractionen bei der Berührung mit einer einfachen Kette den Scheintod vom wahren Tode unterſcheiden. Man hat über dieſen Gegenſtand viele Verſuche bei hingerichteten Verbrechern angeſtellt und merkwürdige Erſcheinungen hervorgebracht. Aldini bewirkte durch eine Volta'ſche Säule an einem ſolchen Leichname eine heftige Bewegung der Füße, die Augen öffneten ſich und ſchloſſen ſich wieder, Mund, Backen und das ganze Geſicht verzerrte ſich heftig. Ure brachte gar an einer ſolchen Leiche den Athmungsproceß wieder in Gang, doch hörte derſelbe mit dem electriſchen Strome wieder auf. Ein erſt getödtetes Schaf kann durch den electriſchen Strom in convulſiviſche Bewegungen verſetzt werden, die den Anfällen von Epilepſie gleichen. Eine ausgeriſſene Krebsſchere, durch die dieſer Strom geht, zwickt heftig zuſammen; eine an einen Tiſch angenagelte Ochſenzunge zieht ſich, wenn man *E* durch ſie leitet, ſo ſtark zuſammen, daß ſie den Nagel auszieht. Legt man auf eine Zinkſcheibe ein Silberſtück und darauf einen Blutegel, ſo zeigt dieſer kein Unwohlſeyn, ſo lange er nur das Silber berührt; ſo wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

354. Der electriſche Strom einer Volta'ſchen Säule afficirt die Sinne auf eine eigene, merkwürdige Weiſe. Berührt man ein Augenlied, das man vorher naß gemacht hat, mit einem, das andere mit einem anderen Metalle, ſo bemerkt man in dem Augenblicke, wo dieſe Metalle unter ſich in Berührung gebracht werden, einen Lichtſchein. Mit einer Säule von 20 — 30 Elementen erreicht man dieſes ſchon, wenn man einen Pol derſelben mit der Hand berührt, den anderen aber mittelſt einer Metallſtange mit irgend einem Theile des Geſichtes in Verbindung bringt. Schließt man den Kreis einer Säule von 30 — 40 Elementen durch die Ohren, indem man die von den Polen kommenden Leitungsdrähte wie Sonden in den Gehörgang ſteckt; ſo erhält man eine ſtarke Erſchütterung im Kopfe und empfindet zugleich ein beſonderes Geräuſch. In der Naſe ſoll der negative Pol, nach Ritter, ein Nieſen erregen, der poſitive eine Abſtumpfung der Empfindlichkeit hervorbringen. Auf der

Zunge erzeugt der poſitive Pol einen ſauren, der negative einen alkaliniſchen Geſchmack. (Lehrbuch des Galvanismus ꝛc. von Fechner. Leipzig 1829. S. 485 u. f.)

355. Die Electricität kann ſich in einem guten Leiter ohne die mindeſte Spur einer Lichterſcheinung fortpflanzen; aber freie, an keinen Stoff gebundene Electricität erſcheint immer als Licht. Der electriſche Funke, welcher in der Luft von einem Körper in den anderen übergeht, iſt eine ſolche freie Electricität; denn er durchbohrt gleichſam die Luft und drückt ſie zuſammen, wie man leicht durch einen Verſuch zeigen kann, den man mittelſt des Apparates (Fig. 300) anſtellt. Dieſer Apparat ſtellt gleichſam ein Communicationsgefäß mit Queckſilber vor, wovon ein Arm geſchloſſen iſt und die zum Überſchlagen eines electriſchen Funkens durch die Luft in dieſen Arm nöthige Einrichtung hat. So wie der Funke überſchlägt, ſieht man das Queckſilber im engeren, offenen Arme ſteigen, zum Beweiſe, daß der Funke nicht durch die Maſſe der Luft gegangen iſt, ſondern dieſelbe beſeitiget habe. Dieſer Funke richtet ſich nach der Natur, Oberfläche und Geſtalt der Leiter, nach dem Mittel, in welchem er Statt findet, und nach der Intenſität der *E*. Da dem Übergange der *E* von einem Körper in einen anderen durch ein ſchlecht leitendes Mittel immer eine Electriſirung des letzteren durch Vertheilung vorausgeht und dieſe deſto ſtärker ſeyn muß, je beſſer jener leitet; ſo wird in demſelben Grade auch das Beſtreben der zwei entgegengeſetzten *E*, das Zwiſchenmittel zu durchbrechen und einen electriſchen Funken zu erzeugen, zunehmen. Aus dem Vorhergehenden und aus dem Einfluſſe der Geſtalt der Körper auf die Anordnung der *E* kann man die Verſchiedenheit der electriſchen Lichtphänomene vollkommen begreifen. Der Conductor einer Electriſirmaſchine gibt deſto **längere** Funken, je ſtärker ſeine electriſche Spannung, je mehr gekrümmt und je reiner ſeine Oberfläche iſt. Aus einer kleinen, auf den Conductor aufgeſetzten Kugel kann man längere Funken ziehen als aus dem Conductor ſelbſt. In eine hölzerne (nicht vorzüglich gut leitende) Kugel gehen ganz kurze Funken über, längere in eine meſſingene, beſonders wenn dieſelbe klein und mit der Erde leitend verbunden iſt; eine Spitze erhält die *E* ſchon aus einer ſehr großen Entfernung ohne merklichen Funken. Je mehr man die Luft verdünnt, deſto weiter ſchlägt der Funke über, je mehr man ſie verdichtet, deſto kürzer wird er.

356. Die **Intenſität** und **Farbe** des electriſchen Funkens

richtet ſich nach der Dichte und Leitungsfähigkeit des Mittels, nach der Intenſität der Spannung und nach der Natur der Körper, die ihn geben und aufnehmen. Durch ein dreiſeitiges Glasprisma betrachtet, zeigt der electriſche Funke ein lebhaftes Farbenbild; ja sogar Fraunhofer'ſche Linien hat man darin bemerkt und gefunden, daß ſich dieſes Licht vom Sonnenlichte weſentlich unterſcheide. Ein kurzer Funke ſchlägt den geraden Weg ein, ein langer einen zickzackförmigen, wahrſcheinlich weil er vor ſich die Luft verdichtet und ſtets den dichteſten Stellen ausweicht. Der Funke einer Leidnerflaſche iſt kurz aber ſehr lebhaft, man kann ihn ſogar im Waſſer, Alkohol ꝛc. ſehen. Eine trockene Säule gibt keine Funken; Volta's Säule gibt Funken, die wegen der ſtets nur geringen Spannung der *E* immer nur ſehr kurz ſind, aber übrigens ſich wie die des Conductors einer Electriſirmaſchine verhalten. Sie hängen nicht ſo ſehr von der Anzahl als von der Größe der Platten ab. Ein Plattenpaar von einem Quadratfuß Oberfläche gibt ſchon merkliche Funken; indeß werden die Funken ſelbſt bei großen Apparaten nie denen gleich, welche nur mittelmäßige Electriſirmaſchinen geben, denn Davy mußte bei dem Trogapparate der Royal-Inſtitution, der aus 2000 Plattenpaaren beſteht, wovon jedes 32 Quadratzoll hat, die Drähte bis auf $\frac{1}{30}$ Zoll einander nähern, damit Funken überſchlugen, und nur in ſehr verdünnter Luft wurden die Funken $\frac{1}{2}$ Zoll lang. Beachtenswerth iſt die von Fuſinieri gemachte Beobachtung, daß durch den electriſchen Funken ponderable Stoffe in einem ſehr fein zertheilten Zuſtande übertragen werden. So z. B. bemerkte er, als er zwiſchen einer goldenen und einer ſilbernen Kugel, deren jede mit einer Belegung einer Batterie in Verbindung ſtand, eine blanke Silberſcheibe aufſtellte und die Batterie durch ſie entlud, auf jeder Seite dieſer Scheibe einen vergoldeten Fleck. (*Giornale di Fisica* ꝛc. 1825. *Bim. VI.* 450.)

In verdichteter, atmoſphäriſcher Luft iſt der electriſche Funke ſehr lebhaft, im Kohlenſäuregas weiß und intenſiv, im Waſſerſtoffgas roth und ſchwach, in Waſſerdünſten gelb, in Alkohol- und Ätherdünſten seladongrün. Geht der Funke von Metall in Metall über, ſo iſt er meiſtens weiß, nimmt ihn eine Hand auf, violett; ein in Waſſer überſchlagender Funke iſt roth. Manche Farbenverſchiedenheit ſcheint von der Intenſität der *E* abzuhängen, denn ſelbſt unter denſelben Umſtänden ändert ſich die Farbe, wenn ſich die electriſche Spannung ändert. (Schweigg. J. 3. 145.) Auf den Geſetzen der electriſchen Lichterſcheinungen beruhen mehrere electriſche Apparate, z. B.

die electriſche Spirale, die electriſche Illumination; das Leuchten der Barometer hat auch darin ſeinen Grund. Einige Phyſiker wollen an der Geſtalt des Funkens einen Unterſchied bemerkt haben, je nachdem er aus einem poſitiv oder aus einem negativ electriſchen Körper kommt.

357. Der Übergang eines ſtarken Funkens durch die Luft iſt immer von einem eigenthümlichen Schalle begleitet, den ſich jeder leicht erklären kann, welcher weiß, daß die *E* die Luft durchbohre, ſie zuſammendrücke und hinter ſich einen leeren Raum zurücklaſſe. Kleine Funken, wie ſie eine Volta'ſche Säule gibt, verurſachen nur ein Kniſtern, die Funken aus dem Conductor einer kräftigen Maſchine erregen ſchon ein Krachen und der verſtärkte Funke einer Leidnerflaſche einen förmlichen Knall.

358. Den Phänomenen des electriſchen Lichtes ſind jene Wirkungen des electriſchen Stromes analog, durch welche Körper durchſcheinend oder phosphorescirend werden. Steckt man in einen Apfel zwei Leitungsdrähte ſo, daß ſie in deſſen Innerm nicht weit von einander abſtehen, und leitet dann einen Schlag durch ſie; ſo erſcheint der Apfel durchſcheinend. Daſſelbe kann man mit Tannenholz, Eiern ꝛc. machen. Leitet man einen Funken über ein Stück Kreide, ſo zeigt ſich nach der Exploſion ein Lichtſtreifen auf demſelben. Etwas Ähnliches bewirkt man durch einen Schlag, den man über Zucker, Schwerſpath, calcinirte Auſterſchalen ꝛc. leitet. Körper, wie z. B. Flußſpath, die durch Calciniren ihre Eigenſchaft eingebüßt haben, nach der Erwärmung im Dunkeln zu leuchten, bekommen dieſelbe wieder, wenn man electriſche Schläge über ſie leitet, ſelbſt wenn ſie durch dieſelben nicht unmittelbar berührt werden, ja ſelbſt ſolche Körper, die von Natur aus nicht geeignet ſind, durch Erhitzen zur Phosphorescenz gebracht werden zu können, nehmen durch Wärme Phosphorescenz an, wenn man electriſche Schläge über ſie geleitet hat. Oft phosphorescirt ein Körper, der dieſe Eigenſchaft ſchon von Natur aus hat, nach dem Behandeln mit electriſchen Strömen in einer anderen Farbe, als vorher. (Pearſoll in Zeitſch. 9. 234; 10. 110. Heinrich über Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811 u. 181. 2.)

359. Der electriſche Funke hat eine erwärmende Kraft, durch die er nicht blos das Thermometer ſteigen macht, ſondern auch brennbare Körper anzuzünden vermag. Schon der vom Conductor einer Electriſirmaſchine, vom Electrophor oder von einer Volta'-

ſchen Säule kommende Funke entzündet Knallluft (electriſche Piſtole, Zündmaſchine), Schwefeläther, Colophoniumſtaub, Phosphor ꝛc., um ſo leichter bewirkt dieſes der verſtärkte Funke einer Leidnerflaſche. Gießt man in ein koniſches Metallgefäß eine geringe Menge einer Salzauflöſung, ſetzt das Gefäß mit einem Pole einer kräftigen Volta'ſchen Säule in Verbindungund taucht eine Metallkugel in die Flüſſigkeit, welche mit dem anderen Pole der Säule communicirt; ſo kommt die Salzlöſung ſchon nach wenigen Minuten zum Sieden. Der electriſche Strom wirkt auch auf die beſten Leiter erwärmend, wiewohl er durch ſie ohne Funken geht und dieſe Erwärmung iſt oft hinreichend, den Leiter glühend zu machen, zu ſchmelzen oder gar zu verflüchtigen. Die letzteren Wirkungen erfolgen aber nur bei der Anwendung hinreichend großer Flaſchen, Batterien oder der Volta'ſchen Säule. Legt man auf weißes Papier einen Streifen Blattgold und leitet den Schlag einer Leidnerflaſche durch ihn, ſo verſchwindet das Metall mit einem Blitz; legt man einen ſolchen Streifen zwiſchen zwei Glasplatten, bringt ſie in eine kleine Preſſe und leitet dann den verſtärkten Funken durch, ſo findet man das Metall ins Glas eingeſchmolzen. Leitet man einen ſtarken Schlag durch dünnen Eiſendraht, ſo erglüht er und wird in kleine feurige Kügelchen zerſtiebt. Je ſtärker die Ladung der Flaſche und je dünner und kürzer der Draht iſt, deſto mehr wird er durch den electriſchen Strom erhitzt. Man kann die Länge eines beſtimmten Drahtes, der durch die Electricität geſchmolzen werden kann, als Maßſtab für die Electricitätsmenge anſehen. Nach Cuthbertſon und Brook wächſt die Drahtlänge wie das Quadrat der zum Schmelzen derſelben nöthigen Electricität, indem nach ihren Erfahrungen zwei gleiche Flaſchen mit gleicher Ladung einen viermal längeren Draht ſchmelzen als jede einzelne für ſich. Leicht oxydirbare Metalle werden zwar beim Schmelzen durch den electriſchen Strom faſt immer zugleich oxydirt, aber die ſchwer oxydirbaren, wie z. B. Silber, Gold, brauchen dazu beſonders ſtarke Batterien. Jedes Metall gibt da ein Oxyd von beſonderer Farbe, aus der man faſt immer wieder das Metall ſelbſt errathen kann.

360. Die Kraft des Stromes einer Volta'ſchen Säule, Metalldrähte glühend zu machen und zu verbrennen, richtet ſich mehr nach der Größe als nach der Anzahl ihrer Plattenpaare. Eine Zinkplatte von einem Quadratzoll Oberfläche, die mit einer ununter=

brochenen Kupferplatte zu beiden Seiten umgeben iſt und mit dieſer durch einen ſehr kurzen und feinen Platindraht in Verbindung ſteht, erregt ein Glühen des letzteren, wenn ſie in eine verdünnte Säure getaucht wird (Wollaſton's Feuerzeug). Säulen mit großen Platten erregen aber dieſes Phänomen in einem erſtaunlichen Grade. Children's Apparat macht einen Platindraht von $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke und 18 Zoll Länge, der als Polardraht gebraucht wird, ſo hell glühend, daß man den Lichtglanz kaum ertragen kann, und ſchmilzt ihn endlich gar. Wurde im obengenannten Apparate der Royal-Inſtitution eine Kohle von 1 Zoll Länge und $\frac{1}{6}$ Zoll Dicke in die Kette gebracht und die Polardrähte auf $\frac{1}{3}$ Zoll genähert; ſo begann mehr als die Hälfte davon ſchnell zu glühen und man konnte hierauf die Enden zweier ſolcher Kohlen 4 Zoll weit von einander entfernen, ohne die Entladung durch die Luft zu unterbrechen, ja es bildete ſich da ein ungemein glänzender, nach Oben gekrümmter Lichtbogen, der jede Subſtanz, welche man dazwiſchen brachte, ſchmolz und ſelbſt Quarz, Saphir, Kalk verflüchtigte. Ähnliche Erſcheinungen zeigt im minderen Grade ein Trogapparat mit 100 Plattenpaaren von 36 Quadratzoll Oberfläche, den das hieſige Muſeum beſitzt. Ein Platindraht von $\frac{1}{8}$ Linie im Durchmeſſer und 10 bis 12 Zoll Länge wird ſehr hellglühend und ſchmilzt faſt augenblicklich, und zwei Kohlenſtücke in den Kreis gebracht, verbreiten einen Lichtſchein, der kaum zu ertragen iſt. An Children's Apparat war die Wärmeerregung ſo groß, daß man damit Metalle ſchmelzen konnte, welche im Ofenfeuer völlig unſchmelzbar ſind, wie z. B. Iridium. Eine Volta'ſche Säule kann aber nur einen Draht von beſtimmter Länge und Dicke glühend machen, je länger und dicker der Draht iſt, deſto ſtärker muß der electriſche Strom ſeyn, um ein Erglühen zu bewirken. Auch die Natur des Drahtes hat darauf großen Einfluß und es ſcheint, es werde nur ein ſolcher Körper glühend gemacht, welcher der Electricität einen gewiſſen Widerſtand entgegenſetzt. Ein Strom, der einen Silberdraht ohne Erhitzung desſelben durchſtrömt, bringt einen Draht zum Glühen, der aus abwechſelnden Silber- und Platinſtücken beſteht. Dieſer Umſtand deutet darauf hin, daß die Wärme durch den electriſchen Strom nicht wie bei einer Compreſſion gleichſam ausgetrieben (ausgedrückt), ſondern erzeugt werde. (*Ann. de Chim.* 40. 371.)

361. Der electriſche Strom ſucht jeden Körper, der kein guter Leiter iſt, mithin durch deſſen Maſſe er ſich nicht ungehindert

fortpflanzen kann, zu durchbrechen, und bewirkt demnach, wenn er ſtark genug iſt, ein Zerſplittern desſelben. Leitet man einen ſtarken electriſchen Strom mittelſt zweier, etwas von einander abſtehender Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörſers, den man mit einem Korkpfropfe verſchloſſen hat; ſo wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Leitet man eben ſo einen electriſchen Strom durch Papier, Holz, Glas ꝛc., ſo durchbohrt er ſie. Dieſes geſchieht auch oft an Leidnerflaſchen, die ſich ſelbſt durch die Glaswände entladen. Die Geſchwindigkeit des Stromes iſt ſo groß, daß ſelbſt ein frei hängendes Goldblatt durchbohrt werden kann. Wird der Strom einer Leidnerflaſche mittelſt zweier Drähte, die durch eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre gehen und in derſelben etwa $\frac{1}{2}$ Zoll von einander abſtehen, durch das Waſſer geleitet, ſo zerſprengt er das Glas. Die ausdehnende Kraft der *E* iſt ſo groß, daß durch einen Schlag, den man durch einen Waſſertropfen leitet, der in einer Glaskugel mit 1 Zoll dicken Wänden eingeſchloſſen iſt, die Kugel in Stücke zerriſſen wird. Der Funke einer Volta'ſchen Säule vermag keine ſo großen, mechaniſchen Wirkungen hervorzubringen.

362. Unter allen Wirkungen der *E* ſind die chemiſchen bei weitem die wichtigſten. Dieſe fordern keinen ſtarken, aber dafür einen um ſo anhaltendern electriſchen Strom. Wenn man die aus dem Conductor einer Maſchine gezogene Electricität anhaltend durch eine Waſſerſchichte von geringer Dicke leitet, ſo bemerkt man, daß das Waſſer zerſetzt wird und daß deſſen Beſtandtheile als Gaſe erſcheinen. Dieſer Verſuch fordert aber zum Gelingen, daß man die Electricität mittelſt ſehr feiner, in gläſerne Haarröhrchen eingeſchloſſener und nur mit einem Ende hervorragender Metalldrähte in das Waſſer leite. Die Geſchwindigkeit der Zerſetzung wächſt mit der Feinheit dieſer Drähte und nimmt mit der Dicke der Waſſerſchichte, durch welche die *E* geht, ab. Auf ähnliche Weiſe kann man Öhle, Alkohol ꝛc. zerſetzen. Leitet man eine Reihe electriſcher Funken durch atmoſphäriſche Luft; ſo verbinden ſich die Beſtandtheile derſelben zu Salpeterſäure. Wird ein electriſcher Strom aus einer Electriſirmaſchine mittelſt zwei feiner Golddrähte über die Oberfläche eines mit Lackmus angefeuchteten Kartenpapieres geleitet; ſo zeigt ſich an dem Drahte, wo + *E* ausſtrömt, eine Röthe, von der am anderen Drahte keine Spur zu ſehen iſt. Kehrt man aber die Drähte um, ſo daß — *E* an die Stelle von + *E* kommt und umgekehrt, ſo verſchwindet dieſer Fleck wieder.

363. Viel intereſſanter ſind die chemiſchen Wirkungen des electriſchen Stromes der Volta'ſchen Säule oder auch einer einfachen Kette. Man kann ſchon mit einem einzigen Elemente eine namhafte Wirkung erzeugen. Wenn man eine mit Platindraht umwundene Zinkſtange in Waſſer ſtellt, oder eine Silbermünze darein legt und ſie mit Zink berührt; ſo ſteigen unaufhörlich kleine Bläschen auf, die ſich als Waſſerſtoffgas charakteriſiren. Legt man ein Gold- oder Platinſtück in Salzſäure und taucht zugleich eine Zinkſtange darein, ſo entwickelt ſich an letzterer nur verhältnißmäßig wenig, an erſterem gar kein Gas, ſo lange ſich die beiden Metalle nicht berühren; ſobald aber ihre gegenſeitige Berührung eintritt, beginnt die Gasentwicklung an beiden Metallen mit ungemeiner Heftigkeit. Aus einer Kupfervitriolauflöſung ſcheidet ſich das Kupfer an ein Eiſenſtängelchen aus, nicht aber an eine Silberplatte; ſo wie ſich aber die Metalle berühren, überzieht ſich auch das Silber mit Kupfer. Noch viel ſtärker werden dieſe Wirkungen an einer Volta'ſchen Säule, wenn man von jedem ihrer Pole einen Platin- oder Golddraht in ein Gefäß mit reinem Waſſer leitet und die Drähte darin etwas von einander abſtehen läßt; da wird das Waſſer zerſetzt, es entwickelt ſich am poſitiven Pole Sauerſtoffgas, am negativen Waſſerſtoffgas. Deßhalb heißt man auch jenen Pol Oxygenpol, dieſen Hydrogenpol. Auf ähnliche Weiſe werden durch die Wirkſamkeit des electriſchen Stromes Salze, Säuren, Alkalien und Erden in ihre Beſtandtheile zerlegt und thieriſche Subſtanzen umgeändert; ja man kann annehmen, daß der *E* keine chemiſche Kraft zu widerſtehen vermag. Es erſcheinen aber die Beſtandtheile, in welche ein Stoff zerlegt wird, nur an den beiden Polardrähten, nicht in den davon entfernten Schichten der zerſetzbaren Flüſſigkeit und an jedem Pole häuft ſich ein beſonderer Beſtandtheil an. Wenn eine ſolche Flüſſigkeit in mehrere Gefäße vertheilt wird, die durch Drähte mit einander verbunden ſind, ſo tritt ein jeder ſolcher Draht als ſelbſtſtändiger Polardraht auf und es ſammelt ſich an einem Ende desſelben ein Beſtandtheil, am anderen der zweite Beſtandtheil. Man erklärt dieſe electrochemiſchen Phänomene mit viel Glück, wenn man annimmt, von beiden Beſtandtheilen *a* und *b*, aus denen ein Körper zunächſt beſteht, verhalte ſich *a* wie ein negativ-, *b* wie ein poſitiv-electriſcher Körper und es werde jener vom Zinkpole, dieſer vom Kupferpole angezogen. Bringt man daher

dieſen Körper zwiſchen zwei Polardrähte, ſo ordnen ſich ſeine kleinſten Theile alſogleich ſo, daß der electro-negative Beſtandtheil *a* jedes Atoms gegen den poſitiven, der electro-poſitive *b* gegen den negativen Pol hingekehrt iſt. Iſt der electriſche Strom ſo ſtark, daß er die gegenſeitige Anziehung der Theile unter einander überwindet, ſo wird z. B. am + Pole das Theilchen *a* von *b* getrennt und erſteres erſcheint frei, letzteres bewirkt eine Zerſetzung des nächſten Atoms in ſeine chemiſchen Beſtandtheile *a* und *b* und verbindet ſich mit *a* und ſo geht dieſes fort bis zum letzten Theilchen, welches ſein *a* an das *b* des vorhergehenden abgeben muß, wodurch *b* frei wird und am — Pole erſcheint. Man kann alle Stoffe *A*, *B*, *C*, *D*, ... *Z*, die mit einander eine Verbindung eingehen, in eine ſolche Reihe zuſammenſtellen, daß jeder, wenn er aus einer Verbindung mit einem nachfolgenden ausgeſchieden wird, am poſitiven Pole erſcheint, wenn er aber einen vorhergehenden verläßt, ſich am negativen Pole ſammelt. Die chemiſch unzerlegten Stoffe ſind (in *I*. 49) nach dieſer Ordnung angeführt worden; darum hieß auch der vorhergehende negativ gegen den nachfolgenden, den man poſitiv nannte. Sauerſtoff macht den Anfang, Kalium beſchließt dieſe Reihe; das iſt, es erſcheint der Sauerſtoff ſtets am poſitiven, Kalium am negativen Pole. Salze geben ihre Säuren ſtets am poſitiven, ihre Baſen am negativen Pole ab. Während ein Stoff zu dem Pole der Säule übergeführt wird, geht er keine chemiſche Verbindung mit Körpern ein, welche ihm in den Weg kommen, wenn er ſonſt auch eine große Verwandtſchaft zu ihnen hat. So kann eine Säure auf dem Wege zum Pole der Säule durch Lackmustinctur geleitet werden, ohne ſie zu röthen.

Folgende Tabelle enthält mehrere durch *E* zerlegbare Körper mit Bezeichnung der Pole, wo ſich ihre Beſtandtheile abſetzen:

Zerlegte Körper	+ Pol	— Pol
Waſſer	Sauerſtoff	Waſſerſtoff
Schwefelſäure, conc. .	Sauerſtoff	Schwefel
Salpeterſäure	Sauerſtoff	Stickſtoff
Phosphorſäure, wäſſerige	Sauerſtoff	Phosphor
Chloroxyd	Sauerſtoff	Chlor
Salzſäure, wäſſerige .	Chlor	Waſſerſtoff
Hydrojodſäure, wäſſerige	Jod	Waſſerſtoff

Zerlegte Körper	+ Pol	— Pol
Schwefelwaſſerſtoffgas .	Schwefel	Waſſerſtoff
Ammoniak, wäſſeriges .	Stickſtoff	Waſſerſtoff
Blauſäure	Cyan	Waſſerſtoff
Kalihydrat, befeuchtet .	Sauerſtoff	Kalium und Waſſerſtoff
Metalloxyd, feucht . .	Sauerſtoff	Metall und Waſſerſtoff
Natriumchlorid in Waſſer gelöſet	Sauerſtoff und Chlor	Waſſerſtoff u. Natrium
Schwefelſaures Zinkoxyd in Waſſer	Sauerſtoff und Schwefelſäure	Zink

Nach Fiſcher ſollen alle durch *E* im electriſchen Kreiſe erfolgenden Reductionen von der reducirenden Kraft des am — Pole erſcheinenden Waſſerſtoffes herrühren. (Fiſcher's Verhältniß der chemiſchen Verwandtſchaft zur galv. Elect. Berlin 1830.) Wenn die Producte der chemiſchen Zerſetzung gasförmig erſcheinen, wie dieſes beim Waſſer der Fall iſt, und man die Gaſe in beſonderen Gefäßen ſammelt; ſo kann man ſich überzeugen, daß die Gasentwicklung immer ſchwächer wird, je mehr das bereits vorhandene Gas verdichtet iſt, und daß ſie endlich bei einer beſtimmten Dichte der gasförmigen Producte gar unterdrückt wird. Dieſe Dichte wird deſto größer ſeyn, je größer die zerlegende Kraft der Säule iſt und kann demnach zum Meſſen dieſer Kraft dienen. (Babinet in Pogg. Ann. 12. 523.) — Der Umſtand, daß bei allen Säulen, wo ein flüſſiger Leiter angewendet wird, auch eine chemiſche Wirkung Statt findet und daß ihre Wirkſamkeit ſich ſo ſehr mit der Verſchiedenheit der flüſſigen Leiter ändert, gab Anlaß zu der Vermuthung, daß gar die *E*, welche dabei thätig iſt, unmittelbar durch Oxydation hervorgebracht werde; ja man hat dieſe Vermuthung ſogar auf die durch Reiben erregte *E* ausgedehnt und behauptet, ſie werde durch Oxydation des Amalgams erzeugt. Allein in Betreff des letzteren Punctes fand Davy, daß eine kleine Electriſirmaſchine auch im Waſſerſtoffgaſe und im kohlenſauren Gaſe *E* entwickle und zwar im letzteren noch mehr als in atmoſphäriſcher Luft. Die Unſtatthaftigkeit der Annahme, die Urquelle der Electricität der Volta'ſchen Säule und jedes ihrer Elemente ſey in der Oxydation des poſitiven Electromotors durch einen feuchten Leiter zu ſuchen, will nicht allen Phyſikern einleuchten und es gibt deren noch mehrere von ausgezeichnetem Verdienſte, die der Oxydationstheorie huldigen, unter denen in der neueſten Zeit beſon-

ders La Rive mit ſehr ſcharfſinnig ausgedachten Verſuchen aufgetreten iſt (Zeiſch. 6. 103.), durch die er zu zeigen verſucht, daß oft ungeachtet der Berührung heterogener Metalle weder ein electriſcher Strom noch eine electriſche Spannung bemerkt werde, wenn nicht zugleich eine chemiſche Wirkung eintritt. Allein dieſen Verſuchen laſſen ſich andere entgegenſetzen, bei denen an ſich berührenden Metallen Electricität deutlich bemerkt wird und wo doch eine chemiſche Wirkung weder nachgewieſen, noch überhaupt angenommen werden kann. So z. B. zeigt Becquerel (Zeitſch. 10. 200), daß eine Zinkplatte, die mit einem Platinſtifte zu einem Electromotor verbunden iſt, electriſch ſey, wenn ſie auch ganz überfirnißt iſt und weder die Luftfeuchtigkeit noch die der Finger des Beobachters, der ſie berührt, auf ſie einwirken kann. Ferner geht aus Pfaff's (*Ann. de Chim.* 41. 236) ſorgfältigen Verſuchen hervor, daß ein Zinkkupferelement ſowohl im luft- und dunſtleeren Raume als in völlig trockenem Waſſerſtoff-, Kohlenwaſſerſtoff-, Stickſtoff- und Kohlenſäuregaſe electriſch erſcheine und zwar eben ſo ſtark als in trockener atm. Luft oder im Sauerſtoffgaſe. Ja, wenn man die Electricitätserregung durch Berührung zugibt, aber nicht blos die durch Berührung der feſten Körper unter ſich erregte Electricität, ſondern auch die aus der Berührung der feſten Körper mit flüſſigen hervorgehende berückſichtiget; ſo kann man von allen durch La Rive angeführten Verſuchen, durch die derſelbe das Daſeyn einer Berührungselectricität beſtreitet, gehörige Rechenſchaft geben. Die durch Berührung der Metalle erregte Electricität iſt oft der durch Berührung der Metalle mit flüſſigen Leitern hervorgebrachten entgegengeſetzt und es brauchen nur beide Electricitäten in gleichem Grade vorhanden zu ſeyn, um ſich ganz aufzuheben und Metalle ungeachtet ihrer Berührung unelectriſch erſcheinen zu machen.

364. Die chemiſche Wirkſamkeit einer Volta'ſchen Säule richtet ſich nach der Anzahl und nach der Größe der Plattenpaare. Nach Gay-Luſſac ſoll die Waſſer zerlegende Kraft einer Säule wie die Größe und wie die Kubikwurzel aus der Anzahl der Platten wachſen, nach Davy hängt aber dieſe Kraft mehr von der Anzahl als von der Größe der Platten ab; übrigens hat auch die Leitungsfähigkeit des zu zerſetzenden Körpers und der Drähte, welche die *E* von den Polen zu dieſem Körper führen, einen großen Einfluß auf die Größe der chemiſchen Wirkung einer Säule. Bei dem Zerſetzungsverſuche des Waſſers erhält man mit ſonſt ſtarken Säulen doch nur verhältnißmäßig wenige Luftblaſen, gibt man aber nur einige Tropfen Salpeterſäure ins Waſſer und macht es dadurch mehr leitend; ſo wird die Blaſenentwicklung ungemein vermehrt

und nicht blos die Salpeterſäure, ſondern auch das Waſſer ſchneller als vorhin zerlegt. Dicke Schichten der zu zerſetzenden Flüſſigkeit zertheilen die E zu ſehr und leiten ſie zu ſchlecht, als daß ſie eben ſo wie dünnere zerſetzt werden könnten. Darum nimmt auch die chemiſche Wirkung ab, wenn man die beiden Enden der Polardrähte weiter von einander entfernt. Der große Einfluß der Zuleitungsdrähte zeigt ſich beſonders, wenn man mit einer ſtarken Säule Waſſer zerſetzt. Bewirkt man dieſes durch zwei feine Drähte, welche die Säule ſchnell glühend machen könnte, wenn ſie ununterbrochen wären, ſo erhält man kaum mehr Blaſen als von einer viel kleineren Säule; bringt man aber an jedem Pole 8—10 ſolche Drähte an und bewirkt mit jedem Paare die Zerſetzung, ſo erhält man auch faſt 8—10 mal mehr Blaſen als vorhin. Es wirkt nämlich im erſten Falle die ganze Säule nur mit jenem Theile der E, welchen der Draht abzuleiten vermag, der Reſt trägt zur chemiſchen Wirkung nichts bei. Daß es bei der chemiſchen Wirkung der E auf die Continuität des Stromes, weniger auf ſeine Intenſität ankomme, lehrt beſonders der Umſtand, daß ſchon die durch Berührung zweier Flüſſigkeiten entwickelte E hinreicht, eine chemiſche Wirkung hervorzubringen. Gießt man z. B. in ein kleines, gläſernes Gefäß, ungefähr einen Zoll hoch, eine Löſung von Kupfervitriol in verdünnter Schwefelſäure, hierauf ätzendes Ammoniak ſo, daß ſich dieſe Flüſſigkeiten nicht mit einander vermiſchen, und ſteckt dann einen Kupferdraht hinein, wovon ein Theil in der Säure, der andere im Alkali ſteht; ſo findet man nach mehreren Stunden das obere Ende des Drathes mit Kupferkryſtallen überzogen und das untere merklich angegriffen und aufgelöſet. Gießt man auf Schwefelalkohol eine Löſung von ſalpeterſaurem Kupfer und taucht ein Kupferſtäbchen durch beide Flüſſigkeiten, ſo ſetzt ſich das Kupferoxyd an das Stäbchen, der Schwefel hingegen an die Wände des Gefäßes ab.

Wo immer zwei heterogene Körper ſich berühren, entſteht eine galvaniſche Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird und chemiſche Wirkungen erzeugt. So ſchmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders als aus einem gläſernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüſſigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eiſernen Nägeln zuſammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerſt an den Löthſtellen matt; Queckſilber mit einem anderen Metalle gemiſcht, oxydirt ſich leichter, als wenn es rein iſt; bleierne,

kalkführendes Waſſer enthaltende Röhren werden nur an den Stellen durch abgeſetzten Kalk verſtopft, wo ſie zuſammengelöthet ſind. — So wie man durch *E* chemiſche Wirkungen erzeugt, eben ſo kann man andere dadurch verhindern. So ſichert Davy den Kupferbeſchlag der Schiffe durch kleine, an denſelben befeſtigte Zinn-, Zink- oder Eiſenſtücke, die das Kupfer electro-negativ machen und daher die zerſtörende Wirkung der Beſtandtheile des Seewaſſers auf ſich ſelbſt leiten. So ſichert man Eiſen durch Zink gegen den Roſt, ſo erhält ſich verſilbertes Eiſen in Salpeterſäure, ohne von letzterer angegriffen zu werden, und aus ähnlichem Grunde kann man Silber in Schwefelſäure in gußeiſernen Keſſeln auflöſen. (Pogg. Ann. 3. 211; 4. 466. Schweigg. J. 57. 23.)

365. Wenn man den electriſchen Strom durch dünne Drähte in die zu zerſetzende Flüſſigkeit leitet, ſo hängen ſich ihre Beſtandtheile, falls ſie feſt ſind, in der Regel an ſie an, und bei Anwendung ſchwacher electriſcher Kräfte und beſonderer Vorrichtungen, mittelſt welcher die Ausſcheidungen ſehr langſam erfolgen, können ſich die frei werdenden kleinſten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem anderen anordnen, ſo daß man auf dieſem Wege manchen Körper kryſtalliſirt erhält, der bei keinem anderen Mittel in Kryſtallform erſcheint. (Becquerel in Zeitſch. 6. 351; 8. 93.) Wenn man einen Polardraht in eine ebene, polirte Scheibe ausgehen läßt, während der andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieſer Scheibe ſenkrecht gegenüberſteht; ſo legt ſich meiſtens das Product der Zerſetzung, welches an dem der Scheibe entſprechenden Pole erſcheint, in Form concentriſcher Kreiſe an, deren Mittelpunct der Spitze des anderen Polardrahtes gerade gegenüberſteht. Nobili hat dieſe ringförmigen Ablagerungen mit beſonderem Fleiße unterſucht. Man bringt ſie mit ſehr ſchwachen electriſchen Strömen in kurzer Zeit hervor. Eſſigſaures Kupfer mit Salpeter gemiſcht, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine ſchöne Erſcheinung dieſer Art. (Nobili in Zeitſch. 2. 435; 3. 65. Schweigg. J. 54. 40.) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung ſolcher Figuren hin, die in einer eſſigſauren Kupferoxydlöſung befindliche Silberplatte einige Minuten mit einem Zinkſtäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

366. Die Anziehung zwiſchen den Polardrähten und den Beſtandtheilen der Körper und die durch Electricität begünſtigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper bewirkt beſondere, oft

ſehr intereſſante Bewegungen, die ſchon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt wurden, aber erſt in der neueſten Zeit von Herſchel, Pfaff, Runge genauer beachtet wurden. Bedeckt man Queckſilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure und ſetzt die zwei Pole mittelſt Platindraht mit dieſer in leitende Verbindung, ohne durch ſie das Queckſilber zu berühren; ſo entſtehen Strömungen, die nach Umſtänden bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einſchlagen und ſich überhaupt nach der Natur des flüſſigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Queckſilbers, und nach der Stärke der Adhäſion desſelben an das Gefäß, worin es ſich befindet ꝛc. richten. Starke Säuren geben auch ſtarke Strömungen ſo, daß man ſie ſchon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann. In einer ſauren Flüſſigkeit wird das Queckſilber vom poſitiven Pole abgeſtoßen, in einer alkaliſchen angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Queckſilber, ſo plattet es ſich ab, es beginnt eine Strömung vom poſitiven Pole aus und dauert auch noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der poſitive das Queckſilber, ſo erfolgt eine ſchwache Contraction, das Queckſilber oxydirt ſich und wird zähe. Übergießt man Queckſilber $\frac{1}{2}$ L. hoch mit einer geſättigten Kochſalzlöſung und legt einen kleinen Kupfervitriolkryſtall vorſichtig darauf; ſo wird das Queckſilber allmälig matt und überzieht ſich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stück reinen Eiſen; ſo zerreißt die Haut und verliert ſich, es beginnen Strömungen, der Kryſtall vermindert ſich zuſehends und verſchwindet endlich ganz. Eben ſo geräth ein kleiner Queckſilbertropfen in einer geſättigten Auflöſung von ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul in eine heftige, rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkſtäbchen berührt, und dieſe Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet iſt. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

367. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zerſetzung eines Körpers z. B. des Waſſers durch den electriſchen Strom gedient haben, erlangen dadurch die Kraft, dieſe Zerlegung ſelbſt dann noch anhaltend fortzuſetzen, nachdem ſie von der Säule getrennt worden ſind, man kann ſie ſelbſt aus der Flüſſigkeit herausnehmen und reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen; denn wer-

den ſie neuerdings in dieſelbe gebracht, ſo ſetzen ſie die Zerlegung fort und verlieren ſie manchmal erſt in einigen Tagen. Nach Pfaff ſind nicht alle Metalle in gleichem Grade geeignet, dieſe Kraft zu erlangen. Eiſen- und Zinkdrähte zeigen ſie im höchſten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin- und Golddrähte; an Meſſing- und Bleidrähten bemerkt man ſie gar nicht. Daraus folgt aber nur, daß ihre electriſche Kraft die Affinität der Theile des zu zerlegenden Körpers nicht zu überwinden vermöge, keineswegs aber, daß ſie dieſe Kraft gar nicht annehmen; denn La Rive hat auf einem anderen Wege (371) ſelbſt an ſolchen Drähten, die keine chemiſche Wirkung mehr hervorbrachten, deutliche Zeichen eines herrſchenden electriſchen Stromes bemerkt.

368. Da der electriſche Strom im Polardrahte einer Volta'ſchen Säule anhaltend iſt, ſo muß mit jeder Entladung der Säule eine Ladung verbunden ſeyn und daher in der Säule ſelbſt ein Strom Statt finden, deſſen Richtung dem im Polardrahte entgegengeſetzt iſt. Durch dieſen Strom wird die leitende Flüſſigkeit zwiſchen den Platten zerſetzt, ihre Beſtandtheile an die Metalle, welche die electriſchen Pole vorſtellen, übertragen und die Säule gleichſam in eine trockene verwandelt, ihre Thätigkeit geſchwächt und endlich ganz aufgehoben. Mit der Zerſetzung des feuchten Leiters tritt auch eine Temperaturerhöhung ein, aber dieſe iſt nicht an allen Theilen der Säule gleich groß, ſondern nimmt, nach Murray, vom negativen Ende gegen das poſitive zu. Lange bevor eine Säule zu wirken aufhört, hat der Strom ſeine Continuität verloren und die Säule braucht einige Zeit, um die Ladung anzunehmen, die der Draht vermöge ſeiner Leitungsfähigkeit abzuleiten vermag. Oft wird eine Säule wieder thätig, wenn man die Zinkplatten vom Oxyde befreit oder den Apparat erwärmt.

369. Die bisher angeführten Erſcheinungen beweiſen, daß es zwiſchen Licht, Wärme, Electricität und der chemiſchen Wirkung einen innigen Zuſammenhang gebe. Um dieſen einigermaßen begreiflich zu machen, ſtellt man die Hypotheſe auf, daß das Feuer durch die Neutraliſation der zwei entgegengeſetzten Electricitäten entſtehe, und reducirt daher alle Feuererſcheinungen auf Electricität, ſo daß nach dieſer Vorſtellungsweiſe die Eigenſchaft der E, zu leuchten und zu erwärmen, in ihrer Natur liegt und daher nicht weiter zu erklären iſt. Man ſucht dieſe Hypotheſe dadurch zu rechtfertigen, daß man zeigt, bei jeder Feuererſcheinung, z. B.

beim Verbrennen ꝛc., gehe eine ſolche Neutraliſirung entgegengeſetzter *E* vor ſich. Die chemiſchen Wirkungen der *E* erklärt man aus der Hypotheſe, daß die electriſche Anziehung und die chemiſche Verwandtſchaft Modificationen derſelben anziehenden Kraft ſeyen und ſich nur dadurch von einander unterſcheiden, daß bei jener die Körper als Maſſen, bei dieſer hingegen in ihren kleinſten Theilen wirken. Als Stütze dieſer Anſicht führt man ferner an: Körper, die zu einander die größte Verwandſchaft haben, verſetzen ſich durch Berührung auch in die größte electriſche Spannung und nur jene machen von dieſem Geſetze eine ſcheinbare Ausnahme, die ſchlechte Leiter der Electricität ſind, wie z. B. der Schwefel; die Umſtände, welche die Affinität ſteigern, erhöhen auch die electriſche Spannung der Contactelectricität, wie es ſich beſonders bei Schwefel und Kupfer zeigt, die kurz vor ihrer, durch Wärme beförderten Verbindung die größte electriſche Spannung erlangen, von der aber im Producte der Verbindung keine Spur mehr zu erkennen iſt. Demnach erfolgen die Zerlegungen der Körper mittelſt des electriſchen Stromes durch eine Art doppelter Wahlverwandtſchaft. Iſt die electriſche Spannung an den beiden Polen der Säule größer, als diejenige, welche die Beſtandtheile eines Körpers, unmittelbar vor ihrer chemiſchen Verbindung, erlangt haben, ſo wird der poſitive Beſtandtheil vom negativen und der negative vom poſitiven Pole ſtärker angezogen, als die beiden Beſtandtheile ſich gegenſeitig anziehen, und es erfolgt die Zerlegung. Auch iſt es klar, daß ſich, dieſer Anſicht gemäß, Körper nur dann mit einander chemiſch verbinden, wenn ſie ſich in einem entgegengeſetzten electriſchen Zuſtande befinden, und daß man einem poſitiv-electriſchen Körper ſeine Fähigkeit, Verbindungen einzugehen, benehmen kann, wenn man ihn durch Kunſt in einen negativ-electriſchen Zuſtand verſetzt, und umgekehrt (vergleiche 364).

B. Wirkung des electriſchen Stromes in die Ferne. (Electromagnetismus.)

370. Im Jahre 1820 hat Oerſted die wichtige Entdeckung gemacht, daß der electriſche Strom einer Volta'ſchen Säule unter gewiſſen Umſtänden eine Magnetnadel aus ihrer Richtung bringe. Um die Geſetze dieſer merkwürdigen Wirkung des electriſchen Stromes leichter zu überſehen und für ſie kürzere Ausdrücke wählen zu können, denke man ſich immer nur den poſitiven Strom, der im

Polardrahte vom Zinkpole zum Kupferpole, in der Säule aber vom Kupferpole zum Zinkpole geht und abſtrahire vom negativen Strome gänzlich, vergeſſe aber nicht, daß dieſes nur der Abkürzung wegen geſchieht, keineswegs aber zum Behufe einer Erklärung. Unter dieſen Vorausſetzungen erfährt man folgende Geſetze: 1) Iſt der electriſche Strom von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal ſchwebenden Magnetnadel parallel und letztere mit erſterem in einerlei Verticalebene; ſo wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach Weſt abgelenkt, wenn der electriſche Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Oſt, wenn er ſich unter der Nadel befindet. 2) Hat der electriſche Strom dieſelbe Richtung und ſteht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm; ſo wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der electriſche Strom an der Weſtſeite des Magnetes vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er ſich an ſeiner Oſtſeite befindet. 3) Geht der electriſche Strom von Nord nach Süd, ſo erfolgen alle dieſe Ablenkungen nach entgegengeſetzter Richtung. 4) Macht der electriſche Strom mit dem magnetiſchen Meridiane einen ſpitzigen Winkel, ſo erfolgt die Ablenkung wie vorhin, nur ſchwächer. Man kann ſich vorſtellen, als ließe ſich dieſer Strom nach zwei Richtungen zerlegen, wovon einer im magnetiſchen Meridiane liegt und auf die Magnetnadel nach den frühern Angaben wirkt, während der andere auf dem magnetiſchen Meridiane ſenkrecht ſteht und keine Wirkung auf ſie äußert. 5) Der Ablenkungswinkel iſt deſto größer, je wirkſamer die Säule iſt und je näher der electriſche Strom am Magnete vorbeigeht. Biot, Savary und Schmidt fanden, daß die ablenkende Kraft verkehrt wie die Entfernung wachſe. Ob ſich zwiſchen dem Magnete und dem Polardrahte gute oder ſchlechte Leiter der *E* befinden und ob der Polardraht gerade iſt oder Biegungen hat, iſt einerlei. 6) Eine aſtatiſche Magnetnadel wird von einem electriſchen Strome ſo geſtellt, daß ihre magnetiſche Axe auf der Richtung des Stromes ſenkrecht ſteht. Man kann alle dieſe Geſetze auf einmal überſehen, wenn man ſich den Beobachter in den electriſchen Strom verſetzt und mit dem Geſichte nach der Magnetnadel hingewendet denkt, ſo daß die *E* von ſeinen Füßen zum Kopfe geht. In dieſem Falle wird der Nordpol der Magnetnadel ſtets links abgelenkt. — Aus dem Ganzen geht hervor, daß vom Polardrahte eine vor der Hand unbeſtimmte Kraft aus-

gehe, welche die Magnetnadel in eine auf dem electriſchen Strome ſenkrechte Richtung zu ſtellen ſucht und zwar ſo, daß ihr Nordpol an der linken Seite des im Strome befindlichen Beobachters liegt. Daß eine gewöhnliche, nicht aſtatiſche Magnetnadel nicht in dieſe Richtung kommt, ſondern in einer Zwiſchenlage im Gleichgewichte ſteht, rührt davon her, weil ſie von zwei Kräften, nämlich vom Erdmagnetismus und von der Kraft des electriſchen Stromes zugleich afficirt wird. Iſt daher *A* (Fig. 307) ein Querſchnitt des Polardrahtes in der Ebene des Papiers, durch welchen der electriſche Strom von der Vorderſeite des Papieres gegen die Rückſeite geht, ſo wird er eine Magnetnadel ſo zu ſtellen ſuchen, wie die Pfeile anzeigen, deren Spitzen ihren Nordpol bedeuten.

371. Ein ſchwacher electriſcher Strom bewirkt nur eine geringe Ablenkung einer Magnetnadel, mehrere parallele und nach derſelben Richtung fortſchreitende, ſchwache Ströme können aber eine ſo große Wirkung erzeugen, wie ein einzelner ſehr ſtarker Strom. Da ein Polardraht einer Volta'ſchen Säule ſeiner ganzen Länge nach ununterbrochen von *E* durchſtrömt wird; ſo kann man den Strom mehrmal auf eine Magnetnadel wirken laſſen, indem man den Draht ringförmig zuſammenwindet und in dieſen Ring die Magnetnadel ſtellt. Auf dieſe Weiſe erhält man Schweigger's Multiplicator (Galvanometer), ein Inſtrument, welches für die bewegte Electricität daſſelbe leiſtet, was für die ruhende ein Electroſcop thut. Fig. 308 ſtellt es vor. Der Draht ſoll aus einem ſehr gut leitenden Stoffe beſtehen und zur Vermeidung jeder leitenden Seitenberührung mit Seide überſponnen, für delicate Unterſuchungen ſogar überdieß noch gefirnißt ſeyn. Je mehr Windungen er hat, deſto empfindlicher iſt er, bis zu einer gewiſſen Grenze, über die ſeine Empfindlichkeit nicht mehr mit der Anzahl ſeiner Windungen zunimmt, weil die letzteren Windungen ſchon zu weit vom Magnete entfernt ſind und mit der wachſenden Länge des Drahtes ſeine Leitungsfähigkeit abnimmt. Nobili hat, um die Empfindlichkeit dieſes Inſtrumentes zu erhöhen, denſelben Draht in zwei ovale Ringe nach entgegengeſetzten Richtungen gewunden und in ihren Öffnungen zwei Magnetnadeln angebracht, die eine aſtatiſche Doppelnadel bilden, wie Fig. 309 zeigt. Hare erhielt einen noch empfindlicheren Multiplicator durch Anwendung feiner Zinnfolioſtreifen ſtatt eines Drahtes. Marianini, der mehr darauf ausgeht, mittelſt des Multiplicators die Stärke eines electri-

ſchen Stromes zu meſſen als ſchwache Ströme zu entdecken, kehrt wieder zum einfachen Apparat zurück, windet aber den Draht fächerförmig, wie Fig. 310 zeigt, und bringt an der Seite der Nadel eine feine Borſte als Zeiger an. Sollen Multiplicatoren mit einander vergleichbar ſeyn, ſo müſſen ſie aus Drähten von gleicher Natur, Länge, Dicke, Spannung und Anordnung beſtehen und dieſelbe Windungszahl haben. L. Nobili hat die hiezu nothwendigen Einrichtungen näher angegeben. (Zeitſch. 8. 70.) Mittelſt des Multiplicators haben Colladon und Nörrenberg durch Maſchinenelectricität eine Ablenkung eines Magnetes hervorgebracht; man kann auf dieſem Wege auch durch eine Leidnerflaſche, durch eine Säule, die aus zwei flüſſigen Electromotoren und einem feſten Leiter beſteht, ja ſogar durch die zweielementige Säule eine Magnetnadel ablenken; nur mit trockenen Säulen konnte man bis jetzt nichts Ähnliches bewirken, wahrſcheinlich, weil es dem electriſchen Strome an der dazu nöthigen Continuität fehlt. (Schweigg. J. 31. 2; 38. 100; 40. 405; 45. 256; Zeitſch. 4. 42.)

Der Multiplicator kann für electriſche Ströme ſo empfindlich eingerichtet werden, wie das beſte Electroſcop für die *E* im Gleichgewichte. Man hat auch bereits damit in Fällen electriſche Ströme entdeckt, wo man ſie durch kein anderes Mittel zu entdecken im Stande geweſen wäre. Wenn ſich zwei Metalllegirungen, die nur im mindeſten von einander chemiſch verſchieden ſind, berühren; ſo zeigt zwar ſchon ein präparirter Froſchſchenkel, den man zum Schließen der Kette verwendet, das Daſeyn eines electriſchen Stromes, aber mittelſt eines Multiplicators erfährt man dieſes leichter und ſicherer und kann demnach durch ihn Metalllegirungen probiren. (Oerſted's electro-magnetiſche Probirkunſt. Schweigg. J. 52. 14.) Mittelſt desſelben Apparates hat auch La Rive in einem Polardrahte, der nicht mehr mit den Polen des Electromotors in Verbindung ſtand, Zeichen eines electriſchen Stromes bemerkt, die ſich durch keine chemiſche Wirkung zu erkennen gaben und Nobili hat dasſelbe ſelbſt an den Drähten des Multiplicators wahrgenommen. Die electriſche Erregung beim Reiben zweier Metalle an einander, läßt ſich mittelſt des Multiplicators beſſer als durch irgend ein anderes Mittel nachweiſen. Verbindet man nämlich zwei Metallſtücke mit den Drähten des Multiplicators und reibt ſie dann an einander, ſo zeigt die Ablenkung der Magnetnadel alſogleich das Daſeyn eines electriſchen Stromes und ſeine Richtung an. (Zeitſch. 3. 224; 4. 491.)

372. Der Polardraht wirkt auch auf unmagnetiſches Eiſen, zieht ſchon von einiger Entfernung Eiſenfeilſpäne an und trägt ſie, gerade ſo wie ein Magnet, läßt ſie aber wieder fallen, ſobald der electriſche Strom zu wirken aufhört. Merkwürdig iſt der Umſtand, daß dieſe Feilſpäne den ganzen Polardraht einwickeln und ſich nicht blos mit einem Ende an ihn hängen, ſondern der ganzen Länge nach daran haften, gerade ſo, als wenn der Polardraht ein Transverſalmagnet wäre, der an jedem Puncte des Umfangs einen Pol hat. Ein ſtarker electriſcher Strom einer Volta'ſchen Säule oder einer Leidnerflaſche kann Eiſen und Stahl ſogar bleibenden Magnetismus ertheilen. Leitet man einen electriſchen Strom mittelſt einer Volta'ſchen Säule an einem Eiſenſtäbchen vorbei, deſſen Richtung mit der des Stromes nicht parallel iſt; ſo erlangt es ſchon eine geringe magnetiſche Kraft. Dieſe wird noch größer, wenn der Strom der Electricität und das Eiſenſtäbchen ſich unter einem rechten Winkel kreuzen, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere electriſche Ströme quer über das Stäbchen leitet. Das letzte findet Statt, wenn man einen Metalldraht zuſammenwindet, ſo daß er gleichſam eine hohle Schraube darſtellt, den zu magnetiſirenden Körper darein legt und dieſe Schraube als Polardraht braucht oder eine Leidnerflaſche dadurch entladet; denn in dieſem Falle kann man ſich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube ſenkrecht ſteht, während die andere mit ihr parallel lauft. Letztere bringt keine Wirkung hervor und es vertritt daher die Schraube eben ſo viele quer über das Stäbchen geſpannte Polardrähte, als Schraubenwindungen in die Länge desſelben fallen. Die magnetiſirende Kraft, welche da unter günſtigen Umſtänden eine Volta'ſche Säule entwickelt, iſt unglaublich. Windet man um ein weiches Hufeiſen, das überfirnißt und mit Seide umwickelt worden, einen etwa 1 L. dicken Kupferdraht in mehreren Spiralen herum und bringt die Enden desſelben mit den Polen einer mäßigen Säule in Verbindung; ſo erſcheint das Eiſen augenblicklich ſo ſtark magnetiſch, daß es eine Laſt von mehreren Pfunden trägt. So wie man aber die Kette öffnet, fällt das Gewicht ab und das Eiſen iſt ohne Magnetismus, aber immer wieder fähig, ihn durch dasſelbe Mittel wieder anzunehmen. Moll ertheilte auf ſolche Weiſe einem Hufeiſen von $2\frac{1}{4}$ Zoll Dicke und $12\frac{1}{2}$ Z. Weite eine Kraft, durch die es 154 Pfund trug. (Zeitſch. 9. 106.) Überhaupt kommt es bei dieſen Verſuchen ſehr auf die Menge von

E an, die in einer gegebenen Zeit beim zu magnetiſirenden Drahte vorbeigeht, denn nach Davy's Erfahrungen wird eine Stahlnadel faſt gar nicht magnetiſch, wenn man, quer darüber, einen electriſchen Schlag durch Schwefelſäure oder durch die Luft leitet, während ihm derſelbe, durch einen Metalldraht vorbeigeführt, eine ſtarke magnetiſche Polarität ertheilt. Man kann auch immer die Lage der Pole des ſo erzeugten Magnetes angeben. In einer rechtsgewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte der negativen *E* am nächſten iſt, und daher die andere die Südhälfte; in einer links gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil. Der electriſche Strom aus einer Leidnerflaſche bewirkt im Allgemeinen dieſelben Erſcheinungen, wie der einer Volta'ſchen Säule und zwar ertheilt er einem Drahte noch ſtärkeren Magnetismus; doch zeigt er Eigenthümlichkeiten, über die erſt die Zukunft Aufklärung geben muß. Bringt man nämlich über einem horizontalen, langen Drahte dünne und kurze Stahlſtücke in einer auf den Draht ſenkrechten Richtung ſo an, daß ſie eine ungleiche Entfernung vom Drahte haben und entladet dann eine Leidnerflaſche oder eine Batterie durch dieſen Draht; ſo findet man zwar die Stahlſtücke magnetiſch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derſelben Seite, ſondern wenn z. B. das dem Strome nächſte ſeinen Nordpol an der rechten Seite hat, ſo findet dieſes in der Regel auch noch beim zweiten, dritten ꝛc. Statt, doch iſt ihre Kraft immer ſchwächer, je weiter ſie vom Strome entfernt waren, hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf dieſe wieder eine andere mit rechts gelegenem Nordpole u. ſ. f. Die Anzahl dieſer Abwechslungen hängt nach Savary, der dieſes Phänomen entdeckte, von der Stärke des Stromes, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimenſionen der Metallſtücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derſelbe Gelehrte hat auch gefunden, daß die Lage der Pole eines Stahlſtückes und die Stärke ihrer Kraft auch durch die Subſtanz modificirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetiſirende Kraft ganz, eine dünne unterſtützt ſie. Dasſelbe thun auch andere Metalle (Pogg. Ann. 9. 443). Nach Moll wirkt die magnetiſirende Kraft des electriſchen Stromes durch Elfenbein, gebrannten Thon, Stein, Holz, ja ſelbſt eine an und für ſich dieſe Kraft hemmende Metallhülle bleibt ohne Wirkung, wenn ſie mit einigen kleinen Löchern verſehen iſt. (Zeitſch. 6. 342.)

373. So wie ein beweglicher Magnet von einem unbeweglichen Polardrahte abgelenkt wird, ſo wird auch ein beweglicher Polardraht von einem unbeweglichen Magnete afficirt und zwar gedreht, angezogen und abgeſtoßen. Um dieſes zu zeigen, braucht man einen kleinen, von La Rive angegebenen Apparat, den Fig. 311 vorſtellt und den man erhält, wenn man durch eine Korkſcheibe *a* einen Zinkſtreifen *Z* und neben dieſem einen Kupferſtreifen *K* ſteckt und auf einer Seite *b* beide entweder unmittelbar oder mittelſt eines dritten Metalls durch einen kleinen Multiplicator verbindet. Gibt man dieſen Apparat in ein weites mit verdünnter Säure gefülltes Gefäß, ſo beginnt der electriſche Strom und hat die vom beigeſetzten Pfeile angezeigte Richtung. Läßt man den Apparat in Ruhe kommen und nähert ihm von Außen einen Pol eines ſtarken Magnetes; ſo dreht ſich der Ring und nimmt eine Stellung an, bei welcher die Magnetaxe ſenkrecht auf dem electriſchen Strome ſteht und der Nordpol ſich zur Linken des im Strome gedachten Beobachters befindet. Hält man einen Magnet mit dem Nordpole in die Mitte des Ringes, ſo daß das Kupfer links, das Zink rechts vom Pole ſich befindet; ſo wird der Ring angezogen und geht bis gegen die Mitte des Magnetes hin. Wird der Südpol auf gleiche Weiſe genähert, ſo erfolgt eine Abſtoßung.

374. Auch der Erdmagnetismus zeigt ſeinen Einfluß auf einen Polardraht und ſtellt ihn, wenn dieſer um eine Axe beweglich iſt, ſo daß der electriſche Strom auf der magnetiſchen Axe der Erde ſenkrecht ſteht und ſich wieder jener ihrer Pole, welcher mit dem Nordpole eines gewöhnlichen Magnetes gleichartig iſt (alſo ihr Südpol), zur Linken des im Strome befindlichen Beobachters befindet. Ein um eine verticale Axe beweglicher Polardraht ſtellt ſich daher immer in eine auf dem magnetiſchen Meridiane, der um eine horizontale Axe bewegliche hingegen in eine auf dem magnetiſchen Äquator ſenkrechte Ebene. Erſteres zeigt man am leichteſten mittelſt folgender Vorrichtung: *A* (Fig. 312) iſt eine hölzerne Rahme, oben und unten in der Verlängerung ihres verticalen Durchmeſſers mit feinen Metallſpitzen *a* und *b* verſehen und von Außen mit einem dünnen, mit Seide überſponnenen Metalldrahte 10 bis 20 mal umwunden, (ſo daß das Ganze einen um *a* und *b* beweglichen Multiplicator vorſtellt, deſſen Enden mit *a* und *b* verbunden ſind). *B* iſt ein hölzernes Geſtelle, welches in *c* und *d* mit Metallplättchen belegt iſt; oben hat es eine feine, nach aufwärts ſich ſchnell

erweiternden Öffnung, welche der Spitze a als Pfanne dient und mittelſt eines in der Öffnung enthaltenen Queckſilbertropfens in inniger Berührung mit a erhalten wird. Das untere Plättchen hat blos eine Vertiefung, um einen Queckſilbertropfen und b aufnehmen zu können. Sobald man das obere und untere Metallplättchen des Geſtelles mit den Polen einer thätigen Volta'ſchen Säule verbindet, ſtellt ſich alſogleich der Ring ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian. Ein ſchraubenförmig um einen Glasſtab gewundener und um eine verticale Axe beweglicher Polardraht, wie ihn Fig. 313 vorſtellt, nimmt, wenn der electriſche Strom durch ihn geleitet wird, eine Richtung von Oſt gegen Weſt an und wird wie ein Magnet von einem anderen Magnete angezogen und abgeſtoßen. — Zum Beweiſe des zweiten Theils des obigen Satzes nehme man eine leichte hölzerne Rahme a (Fig. 314), welche mit zwei einander gegenüber ſtehenden, dünnen Metallſtiften verſehen iſt, die als Drehungsaxen dienen, umwinde ſie mit feinem, überſponnenen Drahte, befeſtige ein Ende desſelben an einem, das andere am zweiten Stifte, ſorge, daß der Schwerpunct des Ganzen in der Drehungsaxe liege, bringe es auf die verticalen Träger b, die oben eine Art Pfanne bilden, und leite einen electriſchen Strom durch den Draht der Rahme ſo, daß derſelbe durch einen Stift in den Draht gelange und von dieſem wieder in den zweiten Stift. Sobald dieſe Strömung beginnt, bemerkt man, daß ſich die Rahme in die oben angegebene Lage ſtellt.

375. Aus dem Vorhergehenden iſt zu vermuthen, daß auch ein Polardraht auf einen anderen eine Wirkung ausübe. Dieſes hat Ampère in der That nachgewieſen und gezeigt, daß ſich zwei Polardrähte, wovon wenigſtens einer beweglich iſt, ſtets in eine Lage zu verſetzen ſuchen, bei welcher beide electriſche Ströme dieſelbe Richtung haben und daß ſich zwei electriſche Ströme, wenn ſie ſich neben einander befinden, anziehen oder abſtoßen, je nachdem ſie dieſelbe Richtung oder entgegengeſetzte Richtungen haben. Man kann ſich von letzterem durch den Apparat überzeugen, den Fig. 315 vorſtellt, wo a und b zwei Polardrähte vorſtellen, die durch Gegengewichte vollkommen äquilibrirt ſind. Ampère hat auch bewieſen, daß der electriſche Strom auf die Theile desſelben Polardrahtes abſtoßend wirke. Man bedient ſich zu dieſem Ende eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig. 316), füllt in jedes Fach Queckſilber ein, ſetzt eines in a mit dem po-

ſitiven, das andere in *b* mit dem negativen Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung und legt auf das Queckſilber einen Metalldraht *cd*, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der electriſche Strom beginnt, gleitet der Leiter *cd* längs der Oberfläche des Queckſilbers hin und entfernt ſich von *a* und *b*. Man kann die Wirkung zweier electriſcher Ströme auf einander allgemein ſo ausdrücken: Zwei Ströme, die ſich dem Scheitel eines Winkels nähern oder ſich davon entfernen, ziehen ſich an, zwei ſolche hingegen, deren einer ſich dem Scheitel eines Winkels nähert, während ſich der andere davon entfernt, ſtoßen ſich ab. (Man muß aber den Begriff eines Winkels auch auf eine gerade Linie ausdehnen und zwei Stücke einer ſolchen als die Schenkel eines Winkels von 180° betrachten.)

376. Wenn man die Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet, wie ſie in Fig. 307 dargeſtellt wurde, näher betrachtet, ſo kommt man leicht auf die Vermuthung, daß der Nordpol des Magnetes um den Polardraht nach einer Richtung, der Südpol desſelben aber nach der entgegengeſetzten Richtung zu rotiren ſtrebe. Daß bei den vorhergehenden Verſuchen dieſe Rotation nicht eintrat, kann daher kommen, daß der Magnet ſich nicht frei bewegen konnte und ſeine zwei Pole eine entgegengeſetzte Bewegung einſchlagen wollten. Ob dieſe Vermuthung richtig ſey, wird man erfahren, wenn man einen electriſchen Strom nur auf einen Pol eines freien Magnetes wirken läßt. Dieſes kann man erreichen, wenn man ein Gefäß *A* (Fig. 317) mit Queckſilber füllt, bis deſſen Oberfläche einen Metallring *a* berührt, der mit einem hervorſtehenden Drahte *b* in Verbindung ſteht, in dieſes Queckſilber durch einen verticalen Draht *c* einen electriſchen Strom leitet, der ſchon an der Oberfläche ſeitwärts durch *b* abgeleitet wird und nicht durch die ganze Queckſilbermaſſe abwärts oder aufwärts geht, endlich in das Queckſilber einen Magnetſtab gibt, der darin durch eine angehängte Platinmaſſe mit verticaler Axe ſchwimmend erhalten wird. So wie der electriſche Strom beginnt, fängt auch der Magnet an, ſich um den Polardraht zu bewegen nach einer Richtung, die ſich nach der vorhergehenden Regel (Fig. 307) vollkommen richtig beſtimmen läßt. Hieraus iſt leicht zu errathen, daß ſich auch ein beweglicher Polardraht um einen Magnet bewegen wird. Man kann dieſes zeigen, wenn man in eine beiderſeits durch Kork geſchloſſene Glasröhre (Fig. 318) unten einen Eiſendraht *a* ſteckt,

der über den Kork ziemlich weit hervorſteht, den Boden mit Queckſilber bedeckt und in dasſelbe einen dünnen Draht *b* reichen läßt, welcher Unten ein kleines Knöpfchen von Glas hat, das die Berührung zwiſchen *b* und *a* verhindert, Oben hakenförmig gebogen iſt und in einen ähnlichen Haken eingehängt wird, deſſen Fortſetzung mit einem Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung ſteht, während das Queckſilber am Boden der Röhre mit dem anderen Pole der Säule mittelſt eines anderen Drahtes *c* communicirt. Sobald die Thätigkeit der Säule beginnt und ein Magnet an das äußere Ende von *a* gehalten wird, um es durch Vertheilung zu magnetiſiren, beginnt das Umkreiſen des Polardrahtes und dauert fort, ſo lange die Thätigkeit der Säule anhält. So wie der magnetiſche Pol geändert wird oder die mit dem Pole der Säule verbundenen Drähte verwechſelt werden, ändert ſich auch die Richtung der kreiſenden Bewegung. Dieſen Verſuch hat Faraday zuerſt angeſtellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt ſich auf mannigfaltige Weiſe abändern. Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf der Magnetſtange angebracht iſt, ſtellen und eines oder beide ſeiner Enden in ein Queckſilbergefäß abwärts biegen, wie Fig. 319 zeigt; man kann ſogar um jeden Pol eines hufeiſenförmigen Magnetes einen ſolchen Polardraht anbringen und zugleich eine Bewegung um beide Pole erzeugen (Fig. 320). Barlow hat an einem gabelförmig ausgeſchnittenen Polardrahte ein ſternförmiges Rädchen angebracht, deſſen Spitzen in Queckſilber reichten und deſſen Ebene ſich zwiſchen den Schenkeln eines hufeiſenförmigen Magnetes befand. Dieſes Rädchen wird durch den electriſchen Strom mit ungemeiner Geſchwindigkeit umgedreht. Fig. 321 ſtellt es vor. Richtet man einen cylindriſchen Magnet ſo ein, daß er ſich um ſeine eigene verticale Axe bewegen kann, und leitet einen electriſchen Strom durch ihn, der nur auf einen ſeiner Pole wirket; ſo beginnt dieſer ſich ſchnell um ſeine eigene Axe zu drehen. Man kann dieſen Verſuch mit dem in Fig. 322 abgebildeten Apparate anſtellen, wo *a* den Magnet vorſtellt, der mit einem Pole in Queckſilber reicht, durch deſſen Oberfläche der electriſche Strom ihn verläßt oder demſelben zugeführt wird. Davy hat ſelbſt an flüſſigen Leitern, z. B. am Queckſilber, an geſchmolzenem Zinn deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente ſich dazu eines Gefäßes, durch deſſen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum bis auf ihre oberſte Fläche mit Siegellack überzogen waren; wurde Queckſilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drähte deckte und

durch ſie eine mächtige Volta'ſche Säule entladen; ſo erhob ſich das Queckſilber über den Drähten in kegelförmiger Geſtalt und ſchlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einen jener Drähte angebracht; ſo ſenkte ſich der Kegel, verſchwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Queckſilber fing um denſelben Pol zu rotiren an. (Schweigg. J. 40. 332.) Nach Fechner kann man eine Flüſſigkeit durch folgende Vorrichtung in eine electro-magnetiſche Rotation verſetzen: Man ſtelle auf den Pol eines aufrechtſtehenden Magnetes eine Kupferſchale von 4 — 5 Z. Durchmeſſer, die in der Mitte aufwärts gedrückt iſt, um in dieſer Stellung ruhig zu verharren. Auf dieſen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring und gieße mit einer Salmiaklöſung gemiſchte Salzſäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein electriſcher Strom erregt werde, der durch die Flüſſigkeit geht. Letztere beginnt nun beſonders ſchnell am Zinkringe zu rotiren und nimmt ſelbſt hineingelegte Papierſtückchen mit. (Schweigg. 55. 15.)

377. Es läßt ſich auch durch das Aufeinanderwirken zweier electriſcher Ströme ein Rotiren hervorbringen. Um dieſes einzuſehen, denke man ſich einen nach *ab* (Fig. 323) und einen zweiten nach einer auf *ab* ſenkrechten Richtung *cd* gerichteten electriſchen Strom. Nach dem (375) ausgeſprochenen Geſetze ſtoßen ſich die nach *ac* und *cd* gerichteten Ströme ab, die nach *cb* und *cd* gerichteten hingegen ziehen ſich an und es würde der Polardraht *ab* nach *ax* fortſchreiten, wenn es möglich wäre, ihm nach dieſer Richtung die nöthige Beweglichkeit zu verſchaffen. Iſt aber der Polardraht *ab* drehbar, ſo wird dieſes Fortſchreiten in eine Rotation übergehen. Umwickelt man daher ein Glasgefäß *A* (Fig. 324) mit einem durch einen Seidenüberzug iſolirten Kupferſtreifen; ſo kann dieſer dem Polardrahte *ab* in Fig. 323 um ſo mehr ſubſtituirt werden, da er zugleich als Multiplicator wirkt und den Effect des electriſchen Stromes, welcher durch ihn geleitet wird, ſteigert. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtſtück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt ſo, daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile beſteht wie *abcd*, dasſelbe Unten mit einem kreisförmigen Kupferſtreifen *ef* verſieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich ſtellt und in dieſes Gefäß ſäuerliches Waſſer gibt, das den Kupferreif berührt. Leitet man nun einen electriſchen Strom ſo, daß er in dem verticalen Stifte aufſteigt, an deſſen Ende in zwei Theilen gegen *b* und *c* geht, hier-

auf abwärts durch *ba* und *cd* in den Ring fließt, von dieſem in das ſäuerliche Waſſer gelangt, hierauf in den Multiplicator übergeht und endlich zum negativen Pole der Volta'ſchen Säule gelangt, (oder eine gerade entgegengeſetzte Richtung nimmt); ſo beginnt alſogleich das Rotiren des Stückes *abcd* und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Multiplicator entgegengeſetzt iſt. — Man erhält auch ein Rotiren des Polardrahtes, wenn man den Multiplicator wegläßt. Ampère ſchreibt dieſes dem Erdmagnetismus zu und, wie es ſcheint, mit Recht, da ſeine Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpol abwärts gekehrten Magnetſtabes gleich ſeyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Muncke in Gehler's Wörterb. 3. 589.)

378. Es iſt leicht einzuſehen, daß alle bisher beſprochenen electro-magnetiſchen Phänomene aus zwei Fundamentalfacten folgen, nämlich aus der Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet oder umgekehrt, und aus der Einwirkung zweier electriſcher Ströme auf einander. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß man dieſe zwei Hauptphänomene auf eine allgemeine Quelle zurückzuführen oder eines aus dem anderen abzuleiten im Stande wäre. Letzteres haben mehrere Gelehrte von ausgezeichnetem Verdienſte zu thun verſucht, aber es ſcheint nicht, als hätte es einem geglückt, ſich allgemeinen Beifall zu erwerben. Einige und zwar zuerſt Ampère, leiten die Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet von der Wirkung zweier electriſcher Ströme auf einander ab, indem ſie annehmen, ein Magnet beſitze ſeine Kraft nur vermöge der electriſchen Ströme, die um jedes materielle Theilchen desſelben nach einerlei Richtung Statt finden, und da ſich zwei parallele, in ihren Richtungen übereinſtimmende Ströme anziehen, zwei einander entgegengeſetzte ſich abſtoßen, ſo folge von ſelbſt hieraus die Art der Einwirkung eines electriſchen Stromes auf einen Magnet, und umgekehrt, ſo wie das Verhalten zweier Magnete zu einander. Andere betrachten den Polardraht als Transverſalmagnet und ſehen demnach die Einwirkung zweier Polardrähte auf einander als das Reſultat ihrer magnetiſchen Kräfte an. Aber über die Lage und Anzahl der Pole eines Querſchnittes des Polardrahtes ſind ſelbſt diejenigen, welche dieſer Anſicht im Allgemeinen huldigen, nicht einerlei Meinung. Schmidt nimmt zwei, Berzelius, Davy und v. Althaus nehmen vier magnetiſche Pole an, Prechtl ſo viele,

als der Polardraht Seiten hat, alſo an einem cylindriſchen Polardrahte unendlich viele. Erman denkt ſich den Polardraht durch eine Diagonalebene getheilt, und ertheilt dem einen Theile ſüdlichen, dem andern nördlichen Magnetismus. Pohl betrachtete anfänglich einen Querſchnitt eines Polardrahtes als eine in ſich ſelbſt zurücklaufende Magnetnadel, bekannte ſich aber ſpäter zu Seebeck's Anſicht, nach welcher nirgends am Polardrahte feſte Pole vorkommen, ſondern in jedem Puncte eines Querſchnittes des Polardrahtes nördlicher und ſüdlicher Magnetismus zugleich vorhanden iſt, jedoch ſo, daß nach einer Richtung vorzüglich jener, nach der entgegengeſetzten dieſer wirkſam iſt. Siehe hierüber: *Oersted Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae* 1820. Pfaff, der Electro-Magnetismus, eine hiſtoriſch-kritiſche Darſtellung der bisherigen Entdeckungen ꝛc. Hamburg 1824. Darſtellung der neuen Entdeckungen über die Electricität und den Magnetismus, durch Ampère u. Babinet. Leipzig 1822. v. Althaus über den Electro-Magnetismus. Heidelberg 1821. Handbuch der dynamiſchen Electricität von Demonferrand. Leipzig 1824. Fechner's Elementarbuch des Electro-Magnetismus. Leipzig 1830. Reichhaltig ſind über dieſen Gegenſtand: Gilb. Ann. vom B. 66 und Schweigg. J. vom B. 29 angefangen. Über allgemeine electromagnetiſche Apparate ſiehe: Gilb. Ann. 67. 113. Zeitſch. 1. 200, vorzüglich Schweigg. J. 46. 1. Kaſt. Arch. 13. 49; 14. 273. Sehr vollſtändig handelt über Electro-Magnetismus Gehler's Wörterbuch 3. 473 — 647. Siehe Suppl. S. 822 u. f.

C. Stärke und Richtung des electriſchen Stromes in einem Electromotor.

379. Unter allen Wirkungen des electriſchen Stromes iſt die Ablenkung einer Magnetnadel am leichteſten genau zu meſſen und daher am meiſten geeignet, die Richtung und Stärke dieſes Stromes anzugeben. Denkt man ſich den Beobachter in den Körper, worin der electriſche Strom herrſcht, verſetzt und] auf die Magnetnadel hinſehend; ſo geht der Strom von ſeinen Füßen zum Kopfe, falls der Nordpol des Magnetes links ausweicht, hingegen vom Kopf zu den Füßen, wenn der Nordpol rechts abgelenkt wird. Iſt *Ee* (Fig. 325) die Richtung eines electriſchen Stromes in der Ebene des magnetiſchen Meridians, *Nn* die Richtung, in welche er eine

Magnetnadel verſetzt; ſo iſt ſeine electro-magnetiſche Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels *ean* proportionirt. Denn da die Magnetnadel durch den Erdmagnetismus *P* allein die Richtung *Ee*, durch die Wirkung *p* des electriſchen Stromes allein die darauf ſenkrechte Richtung *Mm* annehmen würde, durch beide aber nach *Nn* kommt; ſo iſt *Nn* die Reſultirende beider Kräfte und man hat:

$$p : P = \sin ean : \cos ean, \text{ oder } p = P \operatorname{tang} ean.$$

Für kleine Ablenkungswinkel kann man die Kraft des Stromes dem Winkel ſelbſt proportionirt ſetzen. Statt dieſen Winkel zu beobachten, kann man auch die an einem elaſtiſchen Faden hängende Magnetnadel durch Torſion des Fadens in den magnetiſchen Meridian zurückführen und die Anzahl der hierzu nöthigen Torſionsgrade der electro-magnetiſchen Kraft des Stromes proportional ſetzen, oder endlich kann man auf dieſe Kraft aus der Anzahl der Schwingungen ſchließen, die eine aſtatiſche Magnetnadel über dem Polardrahte in einer beſtimmten Zeit vollbringt. Die electro-magnetiſche Kraft des electriſchen Stromes iſt aber ſeiner Stärke proportionirt, denn wenn man einen Electromotor von conſtanter Kraft nach einander mit 1, 2, 3, 4 ganz gleichen Polardrähten ſchließt und die Ablenkung einer Magnetnadel beobachtet, wie es Becquerel (Zeitſch. 1.435) gethan hat; ſo erfährt man, daß der Ablenkungswinkel, falls er klein iſt, der Anzahl der Polardrähte, mithin auch der Anzahl der einander gleichen, wirkſamen Ströme proportional iſt. Da aber 2, 3, 4 gleiche Ströme offenbar 2, 3, 4 mal größere Intenſität haben, als ein einzelner; ſo iſt obige Behauptung gerechtfertiget und man kann demnach die Tangente des Ablenkungswinkels oder nach Umſtänden den Ablenkungswinkel ſelbſt der Intenſität des electriſchen Stromes proportional ſetzen.

380. Wenn man von einer Anzahl gleich großer Electromotoren ſo viele Paare macht, als ſich davon machen laſſen, indem man ſie in jeder Ordnung mit einander combinirt und dann die Einwirkung jeder der ſo erhaltenen einfachen Ketten auf die Magnetnadel unter denſelben Umſtänden prüft; ſo erfährt man die Richtung und Stärke des electriſchen Stromes in jeder Kette. Man hat dieſes Verhalten der Körper benützt, um dadurch ebenſo wie durch den bloßen Gebrauch des Electrometers die electromotoriſche Reihe der Körper zu beſtimmen.

Auf dieſem Wege hat Marianini folgende Reihe erhalten, (die er aber ſelbſt nur für annäherungsweiſe richtig hält), in welcher jeder vorhergehende Körper mit einem nachfolgenden berührt — E erhält, während dieſer ſelbſt $+ E$ bekommt, und der electriſche Strom um ſo ſtärker iſt, je weiter die ihn liefernden Electromotoren in dieſer Reihe von einander abſtehen: Kohle, die lange der Luft ausgeſetzt war; ſtrahliges Graubraunſteinerz; Graumanganerz; unkryſtalliſirter Schwefelkies; magneſiehaltiger Magnetkies; kryſt. Arſenikkies; Graphit; gediegenes, goldhaltiges Tellur; Gold; Platin; Kupferkies; Blättertellur; Kobaltglanz; Fahlerz; Arſeniknickel; friſch bereitete, langſam in der Luft erkaltete Kohle; oxydulirtes Schwefeleiſenerz; Bleiglanz; glänzendes Rothgültigerz; Antimonſilber und wenig oxyd. Arſenik; Queckſilber; Silber; angelauf. Spießglanz; Arſenik; Molybdänglanz; kryſt. Zinnſtein; angelauf. Kupfer; glänzender Spießglanz; erhitzte und dann ſchnell im Waſſer abgelöſchte Kohle; Nickel; angelauf. Wismuth; ſehr oxyd. Meſſing; glänzendes Kupfer; Meſſing; kryſt. Magneteiſen; Eiſen; angelauf. Blei; Mangan; Zinn; glänz. Blei; lebh. brennende dann in Waſſer getauchte und hierauf geprüfte Kohle; Zink. — Pouillet fand folgende Spannungsreihe: Platin; Palladium; Tellur; Gold; Silber; Phosphoreiſen; Schwefelblei; Schwefelkupfer; Reißblei; Antimon; Phosphorkupfer; Schwefelwismuth; Queckſilber; Legirung aus 1 Antimon, 1 Zinn; Leg. aus 1 Antimon, 2 Kupfer; Arſenik; Glockenmetall; Schwefelantimon; Bronze; Kupfer; Meſſing; Wismuth; reines Antimon; Leg. aus 1 Wismuth, 4 Queckſilber; Leg. aus 1 Antimon, 2 Eiſen; Stahl; Eiſen; Schriftmetall; Zinn; Leg. aus 1 Wismuth, 20 Zinn; Leg. aus 1 Zinn, 10 Queckſilber; Blei; Schnellloth; d'Arcetiſches Gemiſche; Leg. aus 1 Blei, 4 Queckſilber; Zink, Zinn und Queckſilber; Leg. aus Zink und Queckſilber. Über den Einfluß des flüſſigen Leiters auf die electromotoriſche Folge der Körper in der Folge. — Die kleinſte Änderung der chemiſchen Natur oder ſelbſt der Oberfläche ändert den electromotoriſchen Rang eines Körpers.

381. Aus der electro-magnetiſchen Wirkung einfacher Ketten hat man gefunden, daß unter denſelben Umſtänden die Stärke des electriſchen Stromes der Oberfläche der Plattenpaare proportionirt ſey, daß aber ihre Maſſe darauf keinen Einfluß habe. Von Plattenpaaren, die einerlei materielle Beſchaffenheit und dieſelbe Oberfläche haben, liefert dasjenige einen ſtärkern electriſchen Strom, wovon ein größerer Theil mit dem feuchten Leiter in Berührung ſteht und die Stärke des Stromes iſt der Größe des eingetauchten Theiles proportionirt. Die Wirkſamkeit einer Kette aus Kupfer und Zink wird bedeutend geſteigert, wenn man der Kupferplatte eine

größere Oberfläche gibt als der Zinkplatte und dieſe zu beiden Seiten mit erſterer umgibt, wie dieſes in den Fig. 296 u. 297 abgebildeten Apparaten geſchieht. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Marianini an dem negativen Theile mehrerer einfacher Ketten, ſo daß es ſcheint, als fordere die Natur der Sache für den negativen Electromotor ſtets eine größere Oberfläche als für den poſitiven. Marianini meint, die Steigerung der Wirkung des electriſchen Stromes in dieſem Falle könne nicht von einer bloßen Vermehrung der Ausſtrömungspuncte für die Electricität herrühren, weil die elect. Kraft nur wenig vermindert wird, wenn man eine Seite des Kupfers und des Zinks mit Wachs überzieht und ſo von dieſer Seite das Ausſtrömen der *E* hindert; allein Ritchie's Verſuche (Zeitſch. 9. 251.) zeigen, daß im letzteren Falle der Strom wirklich nur halb ſo ſtark ſey, wie im erſten. — Man darf bei dieſen Verſuchen nicht vergeſſen, daß der electriſche Strom auf ſeinem Wege mannigfaltige Modificationen erleiden kann, die ihn ſchwächen und überhaupt, daß die Stärke des Stromes nicht blos von der Größe der electromotoriſchen Kraft, ſondern auch von der Leitungsfähigkeit der Stoffe, welche die Electromotoren bilden, abhänge.

382. Eine Volta'ſche Kette kann bei derſelben Natur und Größe der Platten einen Strom von ſehr verſchiedener Größe hervorbringen nach Maßgabe des Zuſtandes ihrer Oberfläche, der Neigung der Platten gegen einander und ihrer gegenſeitigen Entfernung. Bigeon fand, daß ein Zinkkupferelement bei derſelben Behandlung den ſtärkſten Strom gab, wenn die Kupferplatte durchlöchert war, einen ſchwächeren, wenn dieſelbe nach zwei auf einander ſenkrechten Richtungen gefurcht, einen noch ſchwächeren, wenn ſie rauh gefeilt, einen ſchwächeren, wenn ſie geebnet, und endlich den ſchwächſten, wenn ſie polirt war. Solche Platten geben auch bei paralleler Stellung den ſtärkſten Strom, jede Neigung gegen einander ſchwächt ihn.

383. Von beſonderem Einfluſſe auf die Stärke des electriſchen Stromes einer einfachen Kette iſt die Dicke der die Platten trennenden Schichte des flüſſigen Leiters, ſeine Continuität und Leitungsfähigkeit. Der Strom nimmt in demſelben Verhältniſſe ab, in welchem die Dicke der flüſſigen Schichte zunimmt. Dieſes kann man leicht erfahren, wenn man zwei Platten in verſchiedenen Abſtänden von einander in einen Trog einſetzt, den Zwiſchen-

raum mit dem flüſſigen Leiter ausfüllt und die Stärke des Stromes mit dem Abſtande der Platten vergleicht. — Der Einfluß der Leitungsfähigkeit des flüſſigen Leiters zeigt ſich in vielen Fällen und jeder derſelben lehrt, daß der Strom deſto ſtärker iſt, je beſſer die Flüſſigkeit leitet. Die kleinſte Beimengung, die den flüſſigen Körper leitender macht, zeigt ſich ſchon durch eine Verſtärkung des Stromes. So z. B. wirkt deſtillirtes Waſſer verſchieden nach Verſchiedenheit des beim Deſtilliren gebrauchten Condenſators. Wird der flüſſige Leiter durch dazwiſchengeſtellte Metallplatten, die doch ſelbſt gute Electricitätsleiter ſind, unterbrochen; ſo wird eine Schwächung des Stromes bemerklich, welche deſto bedeutender ausfällt, je kleiner die Intenſität des urſprünglichen Stromes iſt und je öfter derſelbe bereits vom flüſſigen Leiter in den feſten übergegangen iſt. Platten aus oxydirbaren Metallen ſchwächen den Strom weniger als ſolche aus nicht oxydirbaren. Man wird dabei unwillkürlich an die Schwächung des Schalles, des Lichtes und der Wärme beim Übergange von einem Mittel in ein anderes erinnert und wirklich haben Phyſiker von Rang dieſe Schwächung des electriſchen Stromes gleich der des Schalles ꝛc. aus partiellen Reflexionen der Electricität zu erklären geſucht. (Zeitſch. 4. 468.)

384. In einem aus mehreren einfachen Ketten beſtehenden Electromotor hängt die Stärke des electriſchen Stromes außer den bereits erwähnten Umſtänden auch noch von der Anzahl der Plattenpaare und von der Leitungsfähigkeit des Polardrahtes ab. Da die Spannung eines Electromotors im geraden Verhältniſſe mit der Anzahl ſeiner Plattenpaare wächſt; ſo ſollte man glauben, es müſſe auch die Stärke des electriſchen Stromes in einem ſolchen Apparate wie die Anzahl der Plattenpaare zunehmen. Allein Marianini hat ſich überzeugt, daß dieſe Wirkung viel kleiner iſt als die Summe der Wirkungen jedes einzelnen Plattenpaares. Es ſcheint demnach mit jedem neuen Elemente auch ein Hinderniß des electriſchen Stromes herbeigeführt zu werden und als ſolches ſehen viele die vorher betrachtete Schwierigkeit an, mit welcher ein electriſcher Strom von einem feſten Leiter in einen flüſſigen übergeht und umgekehrt.

385. Der electriſche Strom bringt ſowohl in einfachen Ketten als in Batterien und Säulen Effecte hervor, die auf ihn ſelbſt zurückwirken und ſeine Stärke und Richtung abändern. Es wirkt

ein electriſcher Strom unmittelbar auf die electromotoriſche Kraft ein und erhöht ſie an demjenigen guten Leiter, in den er von einer Flüſſigkeit eindringt, vermindert ſie aber in demjenigen, von dem er in die Flüſſigkeit übergeht. Dieſes zeigt folgender Verſuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derſelben in ein Glas mit Waſſer, verbinde ſie mit einander außerhalb der Gläſer leitend, und bringe in eines der Gläſer, dem Silber zur Seite, einen Zinkſtreifen, in das andere ebenſo einen Kupferſtreifen und verbinde dieſe letzteren ſelbſt mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüſſigkeit, verbindet ſie mit einander zu einer einfachen Kette, ſo erſcheint die Platte, welche ſich neben dem Kupfer befand und in welche die Electricität vom Waſſer einſtrömte, poſitiv, die andere negativ. Dieſe Änderung erleidet ein Körper um ſo leichter, je öfter man ihn einem electriſchen Strome bereits ausgeſetzt hat, ſie erſtreckt ſich aber nur auf den in die Flüſſigkeit getauchten Theil desſelben. Daraus folgt nun, daß von einem in einer Flüſſigkeit befindlichen Plattenpaare die electromotoriſche Kraft der poſitiven Platte durch den electriſchen Strom geſchwächt, die der negativen verſtärkt werde, daß daher der Strom immer ſchwächer werden und endlich gar in entgegengeſetzter Richtung auftreten müſſe. Dieſes fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemiſche von 100 Th. Waſſer und 1 Th. Schwefelſäure. Da erſchien zuerſt das Platin negativ, der Graphit poſitiv; nach öfterem Eintauchen verſchwand der Strom ganz und trat endlich mit entgegengeſetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher dieſe Veränderung eintritt, hängt vom feuchten Leiter ab und iſt deſto kürzer, je beſſer dieſer leitet. Waſſer bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes; Electromotoren, die nicht oxydirbar ſind, wie z. B. Gold und Platin, kehren, wenn ſie einige Zeit der Luft ausgeſetzt ſind, wieder in ihre urſprüngliche electriſche Reihe zurück. Aus dieſem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Electromotors blos durch den einige Zeit lang Statt findenden electriſchen Strom ohne Rückſicht auf etwa vorfallende Veränderungen geſchwächt werde. Marianini hat dieſes durch eigene Verſuche mit Volta'ſchen Säulen näher erörtert und ſich überzeugt, daß der Verluſt, den ein ſolcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am ſchnellſten erfolge, in der Folge immer

langſamer vor ſich gehe und endlich eine beſtimmte, unüberſchreitbare Grenze erreiche. Dieſe Abnahme erfolgt (nach Fechner) deſto ſchneller, je kürzer der die Kette ſchließende feſte oder flüſſige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares iſt, ſchneller, wenn die Fläche des poſitiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Übrigens hängt ſie auch von der Natur der Platten und der flüſſigen Leiter ab und befolgt ſelbſt bei ganz gleich conſtruirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieſelbe iſt, einen verſchiedenen Gang. Eine einfache Kette, mit großen, weit von einander abſtehenden Platten aus Zink und Zinn, mit ſtark ſaurem Waſſer oder noch beſſer mit Kupfervitriollöſung, durch einen langen Polardraht geſchloſſen, wird ihre Kraft nur ſehr langſam verlieren. (Marianini in Zeitſch. 3. 365. 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63; 249.)

386. Der Erfolg der electromotoriſchen Kraft feſter ſich berührenden Leiter kann daher durch eine Flüſſigkeit, in welche man ſie taucht, auf eine dreifache Weiſe abgeändert werden, indem die Flüſſigkeit 1) durch ihre electromotoriſche Kraft dazwiſchen tritt, 2) die feſten Leiter chemiſch afficirt, oder 3) ihre Oberfläche ändert. Der Strom übt aber auch einen von jeder materiellen Veränderung unabhängigen Einfluß auf die electromotoriſche Kraft feſter Stoffe aus. Für alle dieſe Puncte ſprechen beſtimmte Erfahrungen. In vielen Fällen iſt es einleuchtend, daß die electromotoriſche Kraft des flüſſigen Körpers im Spiele iſt, es rühren davon die plötzlichen Umkehrungen der Pole einer Kette her, denn daß z. B. Eiſen gegen Kupfer in Salzauflöſungen oder Säuren poſitiv, in einer concentrirten Schwefelleberlöſung hingegen gegen dasſelbe negativ electriſch iſt, kann wohl nur davon herrühren, daß im letzteren Falle die electromotoriſche Kraft zwiſchen der Flüſſigkeit und den zwei Leitern jener der zwei Leiter unter ſich entgegengeſetzt iſt und ſie der Stärke nach übertrifft. Dieſen Einfluß der Flüſſigkeiten auf den electriſchen Zuſtand der feſten Körper zeigt recht gut folgender Verſuch: Man nehme ein Gefäß, theile es durch eine feuchte Membrane in zwei Fächer, ſtelle ein Zinkkupferelement ſo hinein, daß ſich jedes Metall in einem eigenen Fache befindet, fülle beide Fächer mit einer geſättigten Zinkvitriollöſung und beobachte die Stärke des Stromes. Gießt man hierauf etwas Salpeterſäure in das Fach der Zinkplatte, ſo erſcheint der Strom ſchwä-

cher, gießt man ſie in das Kupferfach, ſo erſcheint der Strom ſtärker. — Bewirkt eine Flüſſigkeit eine allmählig eintretende chemiſche Wirkung am Electromotor, ſo kann ſogar während ſeines Eingetauchtſeyns in derſelben Flüſſigkeit eine Umkehrung des electriſchen Stromes eintreten. Dieſes iſt bei Ketten aus Kupfer und Eiſen in einer ſchwachen Schwefelleberlöſung, bei ſolchen aus Blei und Zinn in concentrirter Salpeterſäure der Fall. Man bemerkt nämlich gleich nach dem Eintauchen eine ſtarke Ablenkung der Magnetnadel des Multiplicators, dieſe nimmt zuſehends ab und geht endlich gar in eine entgegengeſetzte über. Selbſt die mit der Zeit bei Volta'ſchen Zinkkupferſäulen eintretende Veränderung des electriſchen Stromes rührt zum Theile von der Oxydation der Zinkplatten her; indem ein oxydirtes Metall in einer Flüſſigkeit negativ-electriſch wird. In dieſe Kategorie ſcheinen alle jene Fälle zu gehören, wo zwei ganz homogene Stoffe durch ungleichzeitiges Eintauchen in eine Flüſſigkeit einen electriſchen Strom erzeugen, wie z. B. mit zwei reinen Kupferſtücken, die man eines nach dem anderen, während ſie mit den Multiplicatordrähten in Verbindung ſtehen, in eine Schwefelleberlöſung taucht, oder mit homogenen Zinnſtreifen, die man hinter einander in Salzſäure einſenkt. In jedem dieſer Fälle muß natürlich der zuerſt eingetauchte Körper eine größere chemiſche Änderung erleiden als der zuletzt eingeſenkte, mithin das Verhältniß der electromotoriſchen Kraft der Flüſſigkeit gegen jene des erſteren ein anderes ſeyn als gegen jene des letzteren. — Mancher feſte Leiter erfährt in einer Flüſſigkeit eine chemiſche Veränderung, die ihn gegen einen anderen derſelben Natur, welcher aber jene Veränderung nicht erlitten hat, electromotoriſch wirken macht, er behält aber dieſe Eigenthümlichkeit ſelbſt dann noch bei, wenn man ihn abwäſcht und reiniget. Dieſes tritt z. B. mit einem Eiſenſtängelchen ein, das man in eine ſaure, ſalpeterſaure Silberlöſung getaucht hat, dann aber abwiſcht und mit einem anderen, ganz homogenen Eiſenſtängelchen in einer baſiſchen, ſalpeterſauren Kupferlöſung zu einer Kette verbindet; es erſcheint nämlich das erſtere Stängelchen negativ gegen das zweite. Hier ſcheint die Ungleichheit der electromotoriſchen Kräfte blos von einer mechaniſchen Veränderung der Oberfläche herzurühren, doch bleibt es merkwürdig und deutet auf eine beſondere Wirkung hin, daß ein Stahlſtängelchen, das ſich übrigens wie Eiſen verhält, abgeſchabt und polirt werden kann, ohne die Eigenthümlichkeit zu verlieren, die es in der ſalpeterſauren Silberlöſung

erlangt hat. (Davy in Zeitſch. 2. 447; Yelin in Gilb. Ann. 73. 373; von Beck u. Moll ebendaſ. 73. 436; Fechner in Schweigg. J. 53. 61, 129; Wetzlar ebendaſ. 56. 206.)

Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß die Spannkraft der Metalle auch vom flüſſigen Leiter abhänge und es demnach für die feſten Electromotoren eben ſo viele Spannungsreihen gebe, als man verſchiedene, wirkende, flüſſige Leiter anwenden kann. So z. B. fand Davy mit gewöhnlichen Säuren folgende Reihe: Rhodium, Iridium, Platin, Kohle, Gold, Tellur, Palladium, Silber, Kupfer, Blei, Antimon, Wismuth, Eiſen, Zinn, Cadmium, Ammoniumamalgam, Zink, Zinkamalgam, Baryum und ſein Amalgam, Kalium und ſeine Amalgame. Mit Alkalilöſungen: Platin, Gold, Palladium, Silber, Eiſen, Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Alkalimetalle und ihre Amalgame. Mit Schwefelleberlöſungen: Kohle, Gold, Palladium, Platin, Silber, Wismuth, Eiſen, Kupfer, Zinn, Zink. — La Rive erhielt folgende Reihe: Mit verdünnter Salpeterſäure: Silber, Kupfer, oxydirtes Eiſen, Eiſen, Blei, Queckſilber, Zinn, Zink. Mit conc. Salpeterſäure: Oxydirtes Eiſen, Silber, Queckſilber, Blei, Kupfer, Eiſen, Zink, Zinn.

387. Daß die Wärme auf die electromotoriſche Kraft der Körper Einfluß nehme, iſt ausgemacht, ſo wie daß die erwärmte Stelle poſitiv-electriſch werde gegen die kältere. Davon rühren nun die ſogenannten thermo-magnetiſchen Phänomene her. Bildet ein gut leitender Körper einen geſchloſſenen Kreis und wird er an einer beliebigen Stelle erhitzt, ſo iſt das Fortſchreiten der Wärme in ihm von einem electriſchen Strome begleitet, der ſich aus ſeiner Einwirkung auf die Magnetnadel erkennen läßt, falls die Erwärmung überhaupt nicht zu beiden Seiten der erwärmten Stelle gleichförmig fortſchreitet. Dieſes läßt ſich wohl an jedem Körper, beſonders leicht aber an jenen erreichen, die ein kryſtalliniſches Gefüge haben, wie Wismuth, Antimon und ſchon darum von einem Puncte aus nicht nach allen Richtungen die Wärme gleich gut leiten. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zuſammengebogen, wie Fig. 327 zeigt und das hervorſtehende Ende *b* erwärmt, ſo erfolgt ein Strom in den Richtungen der beigeſetzten Pfeile. Windet man die mit einander verſchlungenen Endedrähte eines Multiplicators, zur Vermehrung ihrer Maſſe, ſchraubenförmig zuſammen und erhitzt ſie dann, ſo bemerkt man ein Ausweichen der Nadel, zum Beweiſe des Daſeyns eines electriſchen Stromes. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Cylinder aus Tö-

pferthon, erhitzt einen dieſer Cylinder am äußerſten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten; ſo zeigt die Magnetnadel augenblicklich das Daſeyn eines vom warmen zum kalten Cylinder gehenden Stromes. Seebeck, Yelin und Sturgeon haben mit Wismuth- und Antimonkörpern von verſchiedener Geſtalt derlei Verſuche angeſtellt und electriſche Ströme beobachtet. An einem Wismuth- oder Spießglanzringe, der mittelſt einer kleinen Flamme an einer Stelle erwärmt wird, fand Seebeck zwei Puncte, bei deren Erwärmung ſich der ſtärkſte, und zwei andere, bei deren Erwärmung ſich kein electriſcher Strom einſtellte. Dieſe Puncte laſſen ſich nur durch wirkliche Verſuche beſtimmen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma aus Wismuth an einer Stelle und hält ſie dann in den magnetiſchen Meridian und über eine ſehr lebendige Magnetnadel; ſo wird man beim Umdrehen des Stabes um ſeine Axe leicht eine Stelle finden, von welcher er auf die Magnetnadel einwirkt. Zu beiden Seiten dieſer (meiſtens mit der Axe des Stabes parallelen) Stelle erfolgt keine Einwirkung, denn wenn man den Stab weiter um ſeine Axe dreht, kehrt die Magnetnadel wieder in ihre natürliche Lage zurück, allein bei fortgeſetztem Drehen findet man wieder eine wirkſame Stelle und ſo gibt es in derlei Körpern mehrere derſelben. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach beſtimmten Richtungen Drähte gezogen waren, durch die ein ſchwacher electriſcher Strom ging, dieſelben Wirkungen hervorgebracht, wie an einem einſeitig erhitzten Wismuthſtabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 1, 133 u. 253; Yelin in Gilb. Ann. 73. 415. Schweigg. J. 37. 21. Nobili in Zeitſch. 4. 350; 10. 200, 221. Sturgeon in Zeitſch. 10. 221.)

388. Die Wärme afficirt nicht die electromotoriſche Kraft aller Körper auf gleiche Weiſe, ſondern nach Becquerel die der ſogenannten negativen Körper, wie z. B. Platin, Gold, Kupfer, Silber, mehr als jene der poſitiven. Daher kommt es, daß ſich in einer Kette von zwei oder mehreren Metallen, welche man an der Verbindungsſtelle erhitzt oder erkaltet, ein electriſcher Strom zum Vorſchein kommt. Setzt man eine Stange aus Wismuth *AB* (Fig. 326) mit beiden Enden eines reinen Kupferbogens *C* in Berührung, indem man ſie entweder blos zuſammendrückt oder auch zuſammenlöthet, ſtellt ſie dann in den magnetiſchen Meridian und erwärmt oder erkältet die eine Berührungsſtelle, ohne die Temperatur der anderen zu ändern; ſo wird eine darüber oder darunter

befindliche Magnetnadel abgelenket zum Beweiſe, daß ein electriſcher Strom erregt worden iſt. Ähnliche Reſultate gewähren andere Metalle. Die Stärke und Richtung des Stromes hängt von dem Unterſchiede der electromotoriſchen Kraft der miteinander verbundenen Metalle ab und wenn man für eine beſtimmte Temperaturdifferenz die thermo-electriſche Wirkung der einzelnen Metalle kennt, ſo kann man daraus leicht dieſelbe für jede aus ihnen gebildete Kette finden, indem ſie dem Unterſchiede der thermo-electriſchen Wirkungen der einzelnen Metalle gleich iſt. In derſelben Kette wächſt die Stärke des Stromes mit der Temperaturdifferenz der einzelnen Stellen. Es gibt für die Körper ebenſo eine thermo-electriſche Reihe, wie es eine Spannungsreihe (324. 380.) gibt.

In der nachfolgenden Reihe lenkt jedes Metall, das mit einem der folgenden verbunden und an der ſüdlichen Berührungsſtelle erhitzt wird, den Nordpol der im Innern des Bogens ſchwebenden Magnetnadel weſtlich, das mit einem vorangehenden verbunden wird, lenkt ihn öſtlich ab: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, reines Platin, Uran, reines Kupfer, Mangan, Titan, Meſſing, Queckſilber, Blei, Zinn, Chrom, Molybdän, Rhodium, Iridium, Gold, Silber, Zink, Wolfram, Cadmium, Stahl, reines Eiſen, Arſenik, Antimon, Tellur. Seebeck, der dieſe Reihe beſtimmte, nennt das Wismuthende das öſtliche, das Tellurende das weſtliche; man könnte erſteres auch das negative, letzteres das poſitive nennen. Die kleinſte chemiſche Verunreinigung eines Metalls ändert deſſen Stelle in dieſer Reihe und kann daher dadurch erkannt werden. Nach Becquerel hat man für die nachſtehenden Metalle folgende thermo-electriſche Kräfte, denen die Kraft einer Kupfereiſenkette als Einheit zum Grunde liegt, für Temperaturen unter 50°: Eiſen = 5.000; Silber = 4.070; Gold = 4.052; Zink = 4.035; Kupfer = 4.000; Zinn = 3.890; Platin = 3.680. (Pogg. 17. 535.) Bildet man aus abwechſelnden Stücken zweier Metalle ein Polygon und erwärmt eine, dann zwei, hierauf drei Berührungsſtellen u. ſ. f., wie dieſes Fourier und Oerſted gethan haben; ſo wächſt die Ablenkung der Magnetnadel mit der Anzahl der erhitzten Stellen. Durch dieſes Mittel hat Nobili einen thermo-electriſchen Multiplicator von ungemeiner Empfindlichkeit erhalten. (Pogg. Ann. 17. 535.) Die Wirkung einer magnetiſchen Kette kann man für ſehr geringe Temperaturunterſchiede durch einen von Fechner angegebenen Apparat ſehr merklich darſtellen; welcher aus einer Kupferplatte *abc* (Fig. 300*) beſteht, die hinlänglich breit, am oberen Theile *ab* durchbrochen und mit einer Kreistheilung verſehen iſt. *d* und *e* ſtellt zwei mit einander verbundene Magnetnadeln vor, die da an einem feinen Faden hängen und einen aſtatiſchen Apparat abgeben.

Bringt man einen Wismuthkupferbogen mit *a* und *c* in Berührung und erwärmt die Löthſtelle auch nur mit der Hand, ſo tritt ſchon eine Ablenkung der Magnetnadel von 60—80° ein. (Schweigg. 57. 1.)

D. Electriſche Leitungsfähigkeit.

389. Die electriſche Leitungsfähigkeit ſpielt in allen Fällen, wo es ſich um den electriſchen Strom handelt, eine ſo bedeutende Rolle, daß man daraus wohl begreift, warum ſich die Phyſiker ſo viele Mühe gegeben haben, die Geſetze derſelben auszumitteln und die Ordnung zu beſtimmen, in welcher die Körper nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit auf einander folgen. Die Mittel, durch welche man zum Zwecke zu gelangen hoffte, ſind ſehr verſchieden. Van Marum ſchloß auf das Leitvermögen der Metalle aus der Länge der durch einen electriſchen Strom von beſtimmter Stärke geſchmolzenen, gleich dicken Drahtſtücke, welche aus dieſen Metallen beſtanden, Prieſtley, Harris ꝛc. aus der Größe der Erhitzung, die ſolche Drähte durch den electriſchen Strom erleiden nach der Vorausſetzung, die Leitfähigkeit ſey bei gleichen Dimenſionen der Erhitzung verkehrt proportional; allein alle dieſe Mittel führen nicht zu hinreichend genauen Reſultaten. Größeren Werth haben jene Unterſuchungen, bei denen man die Leitfähigkeit der Körper dadurch auszumitteln ſucht, daß man ſie als Polardrähte einer thätigen Volta'ſchen Säule braucht und entweder die dadurch bewirkte Verminderung der Spannung derſelben (Erman's Methode), oder die von der Säule hervorgebrachte electro-magnetiſche Wirkung (Becquerel's, Ohms, Marianini's u. Barlow's Methode) oder die chemiſche Wirkung des Stromes beobachtet. Bei dieſen Unterſuchungen wird vorausgeſetzt, die Wirkungen des electriſchen Stromes ſeyen bei gleicher Stärke der Säule (wie man ſie am beſten auf thermo-magnetiſchem Wege erhalten kann) deſto größer, je weniger Widerſtand der Polardraht dem Strome entgegenſetzt, man erfährt alſo gleichſam den Leitungswiderſtand; allein nicht nur den des Polardrahtes, ſondern jenen, welcher der Summe der Widerſtände des Polardrahtes, der feſten Electromotoren und der leitenden Flüſſigkeit gleich iſt. Iſt demnach A die abſolute Kraft der Säule, M der Widerſtand von Seite der Electromotoren und der leitenden Flüſſigkeit, N jener des Polardrahtes, ſo muß die Wirkung des Stromes dem Ausdrucke $\frac{A}{M+N}$ proportionirt

ſeyn. Dieſe Wirkung iſt offenbar dem Widerſtande des Polardrahtes nur dann direct, ſeiner Leitungsfähigkeit hingegen verkehrt proportionirt, wenn M gegen N verſchwindend klein iſt. Bei den meiſten zur Ausmittlung der Leitungsfähigkeit angeſtellten Verſuchen wird auf dieſen Umſtand nicht Rückſicht genommen und die Leitungsfähigkeit des Polardrahtes der Wirkung des Stromes proportional geſetzt, darum auch die ſo gefundenen Zahlenwerthe nicht als völlig richtig angeſehen werden können. (Suppl. S. 812.)

Rouſſeau beſtimmt die Leitungsfähigkeit der Körper mittelſt eines eigenen Inſtrumentes, das er Diagometer nennt. Es beſteht aus einer trockenen Säule und aus einer innerhalb eines gläſernen Recipienten befindlichen, ſehr beweglichen Magnetnadel, deren Magnetismus nur dazu dient, ihr ſtets eine beſtimmte Richtung zu geben. Dieſe Nadel berührt mit einem Ende ein Kupfer, das durch den zu unterſuchenden Stoff mit einem Pole der Säule in Communication geſetzt wird. Je beſſer dieſer Körper leitet, deſto mehr wird die Magnetnadel abgelenkt. Auf dieſem Wege hat Rouſſeau die geringſte Verfälſchung an Baumöhl entdeckt. Pfaff endlich benutzt dazu den Umſtand, daß der electriſche Strom Schießpulver nur dann entzündet, wenn er durch eine Strecke eines minder guten Leiters gehen muß, und beſtimmt die Leitungsfähigkeit durch die Länge dieſer Strecke, welche zum Gelingen des Entzündungsverſuches nothwendig iſt. (Rouſſeau in Pogg. Ann. 2. 192. Pfaff in Schweigg. J. 48. 476.)

390. Die Reſultate, welche man durch dieſe verſchiedenen Unterſuchungsmittel gewonnen hat, ſind im Weſentlichen folgende: 1) Einige Körper heben, als Polardraht gebraucht, die Spannung einer Volta'ſchen Säule ganz auf, ſind alſo für dieſen Grad von Electricität vollkommene Leiter, wie z. B. Metalle, andere ſchwächen dieſe Spannung gar nicht, ſind alſo als Nichtleiter anzuſehen, wie z. B. Glas, Seide ꝛc.; andere vermindern die Spannung beider Pole gleichmäßig, theilen ſich aber ſelbſt in zwei electriſche Hälften wie eine Ladungsſäule (347), können demnach unvollkommene, zweipolige Leiter heißen, wie z. B. naſſes Papier; andere leiten nur die Electricität eines Poles ab, iſoliren aber die des anderen, heißen daher mit Recht einpolige, unvollkommene Leiter und zwar poſitiv-einpolige, wenn ſie die Electricität des poſitiven Poles ableiten, wie z. B. die Flamme des Alkohols, des Waſſerſtoffgaſes, des Wachſes und Öhles, oder negativ-einpolige, wenn ſie die E des negativen Poles ableiten,

wie z. B. trockene Seife, Bleiweiß, die Flamme des Phosphors. Die von Erman entdeckten Leitungsgeſetze haben in der neueſten Zeit bedeutende Einſprüche erfahren, insbeſondere hat Ohm zu zeigen verſucht, daß die einpoligen Leiter eigentliche Iſolatoren ſeyen, und daß die ſchnellere Ableitung einer Electricität von der Bildung eines neuen Stoffes am betreffenden Pole abhänge, der dieſelbe durch entgegengeſetzte Electricität neutraliſirt. Übrigens bedarf dieſer Gegenſtand noch einer weiteren Unterſuchung. (Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.) 2) Die Leitungsfähigkeit eines Körpers ſteht im geraden Verhältniſſe mit der Stärke der zu leitenden Electricität. 3) Die Leitungsfähigkeit eines Metalles iſt ohne Vergleich größer als die des beſten flüſſigen Leiters. 4) Die Leitungsfähigkeit eines Metalldrahtes ſteht im verkehrten Verhältniſſe ſeiner Länge und im directen ſeines Querſchnittes. 5) Die Leitungsfähigkeit eines Metalles ändert ſich mit ſeiner Temperatur und wächſt, wenn dieſe abnimmt, wiewohl viele andere Körper durch Temperaturerhöhung an Leitungsfähigkeit gewinnen. — Aus dieſen Geſetzen erklärt man mehrere überraſchende Erſcheinungen, z. B. warum man eine Volta'ſche Säule leichter iſolirt als den Conductor einer nur etwas kräftigen Electriſirmaſchine; warum ein Zinkkupferelement im Waſſer eine Spannung zeigt, wie in der Luft; warum ein langer Polardraht von einer ſehr gut leitenden Maſſe bei derſelben Säule keine ſtärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Maſſe; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen electriſchen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur ſchwach glühender Draht alſogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geſchmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Electricität nicht mehr iſoliren ꝛc.

Die numeriſchen Daten, welche man bei Unterſuchungen über das electriſche Leitvermögen verſchiedener Körper fand, ſind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93.60; Silber = 73.60; Zink = 28.50; Platin = 16.40; Eiſen = 15.80; Zinn = 15.50; Blei = 8.30; Queckſilber = 3.45; Kalium = 1.33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderſtand der Säule Rückſicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57.4; Silber = 35.6: Zink = 33.3; Meſſing = 28.0; Eiſen = 17.4; Platin = 17.1; Zinn = 16 8; Blei 9 7: Nach Davy: Silber = 109.1; Kupfer = 100; Gold = 72.7; Blei = 69.1; Platin = 18.2; Palladium = 16.4; Eiſen = 14.6. (Bec-

querel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend. 44. 245; 46. 137. Davy in Gilb. Ann. 71. 251.)

391. Die früher angegebenen Unterſuchungsmittel laſſen ſich auch auf tropfbare Flüſſigkeiten ausdehnen. Dieſes haben bereits Marianini, Pfaff und Förſtemann gethan und Tabellen geliefert, welche das numeriſch ausgedrückte Leitungsvermögen darſtellen, gegen welche ſich aber auch die in 389 angeführten Bemerkungen anwenden laſſen.

Marianini drückt das Leitungsvermögen der folgenden Salzlöſungen (in 100 Th. Waſſer) ſo aus, wie es die beigeſetzten Zahlen bezeichnen: Salzſ. Platin 418, Salpeterſäure 358, ſalzſ. Gold 307, ſalp. Silber 298, ſaures, ſalpeterſ. Queckſilberprotoxyd 278, ſchwefelſ. Kupfer 258, Schwefelſäure 239, Sauerkleeſäure 179, Salzſäure 164, eſſigſ. Kupfer 154, Salmiak 150, ſauerkleeſ. Kali 149, ſalzſ. Eiſenammoniak 136, Phosphorſ. mit phosphoriger Säure 127, ſalzſ. Kalk 110, Weinſteinſäure 98.66, weinſteinſ. Kali 92, Eſſigſäure 87, Citronenſäure 85.71, Alaun 85, ſalzſ. Natrum 84.79, ſchwefelſ. Kali. 80, Salpeter 78.3, benzoeſ. Kali 76.56, Glauberſalz 74.2, melanſaures Ammoniak 71.15, Benzoeſäure 70.67, kohlenſ. Natrum 69.2, neutral. chlorſ. Kali 68.9, Kalibicarbon. 66.7, eſſigſ. Natrum 64.9, ſchwefelſ. Magneſia 62.64, ſaures weinſteinſ. Kali 62.4, Eiſenvitriol 62.26, ſalzſ. Baryt 60, eſſigſ. Kali 59.2, ſalpeterſ. Kali 57, ſalzſ. Eiſenoxydul 56.53, Kali 55.68, chlorſ. Baryt 53.23, ſchwefelſ. Zink 51.64, Brechweinſtein 50.7, phosphorſaures Natrum 46, Borax 45.31, phosphorſ. Kali 44.74, Natrum 32.6, Ätzammoniak 26.45, Blauſäure 18.27, eiſenblauſ. Natrum 10.96, deſtill. Waſſer 1.00, Alkohol 0.323. Nach Förſtemann: Salzſäure 2.464, Eſſigſäure 2.398, Salpeterſäure 2.283, Ammoniak 2.177, Schwefelſäure 1.737, Kalilauge 1.709, Kochſalzlöſung 1.672, Bleizuckerlöſung 1.560, Meerwaſſer 1.000. Nach Pfaff: Verdünnte Salzſäure, ſalzſ. Platin, ſalzſ. Eiſenoxyd, verdünnte Salpeterſäure, Salmiak, ſalpeterſ. Silber, conc. engl. Schwefelſäure, ſalpeterſ. Queckſilberoxyd, engliſche Schwefelſäure mit 4 Th. Waſſer, ſtarker Weineſſig, verdünnte Phosphorſäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, ſalzſ. Zinnoxydul, Weinſteinſäure, Ammoniak (0.980), kleeſ. Kali, ſalpeterſ. Blei, Eiſenvitriol, eſſigſ. Kali, kohlenſ. Kali und Natrum, ſalzſ. Mangan, weinſteinſ. Kali, benzoeſ. Kali, Borax, Brechweinſtein, eſſigſaures Natrum, ſchwefelſ. Mangan, chlorſ. Kali, ſchwefelſ. Natrum, ſalzſ. Blei, eſſigſ. Blei, deſtill. Waſſer. (Marianini in Schweigg. 49. 22, 284. Förſtemann in Kaſt. Arch. 6. 82.)

392. Die in dieſem Abſchnitte enthaltenen Thatſachen machen zwar das Weſentlichſte von dem aus, was wir gegenwärtig über das

Verhalten der Electricität und der electriſirten Körper kennen, ſind aber bei weitem noch nicht hinreichend, uns über die Natur des electriſchen Princips die nöthige Aufklärung zu verſchaffen und ſein Verhältniß zum Magnetismus, Licht und Wärme nachzuweiſen. Man ſieht wohl bald, daß die Electricität mit dem Magnetismus viele Ähnlichkeit habe, aber an Licht und Wärme will ſie ſich, ungeachtet ihre Erſcheinungen ſo oft von Licht- und Wärmephänomenen begleitet ſind, nicht anſchließen. Wärme und Kälte, Licht und Finſterniß ſtehen ſich nicht ſo gegenüber, wie poſitive und negative Electricität und wie nördlicher und ſüdlicher Magnetismus; denn dieſe heben ſich gegenſeitig auf und begründen durch ihre Vereinigung den natürlichen Zuſtand, Wärme wird aber durch Kälte, Licht durch Finſterniß nur dem Grade nach herabgeſetzt. Beim Lichte läßt ſich an den unläugbar vorhandenen, gleichen und entgegengeſetzten Größen, welche die Vibrationshypotheſe mit dem Namen des verdichteten und verdünnten Theiles einer Lichtwelle bezeichnet, der Gegenſatz nachweiſen, welcher ſich bei der Electricität und beim Magnetismus durch die poſitive und negative Electricität und durch den nördlichen und ſüdlichen Magnetismus ausſpricht; allein bei der Wärme hat man bis jetzt nichts der Art entdecken können.

Über dieſen Abſchnitt ſiehe nebſt den ſchon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Electricität. Leipzig 1758. Verſuche über die Electricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundſätze der Electricität. Leipzig 1789. Dondorf's Lehre von der Electricität. Erfurt 1784. Practiſche Electricitätslehre von Langenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Electricität und Electrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Electricitätslehre, von Leſchan. Wien 1826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thieriſchen Electricität. Prag 1793. Volta's Schriften über die thieriſche Electricität. Prag 1793 und 1796. Volta's neueſte Verſuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer. Berlin 1797—99. Der Proceß der galvaniſchen Kette von G. F. Pohl. Leipzig 1826. Die galvaniſche Kette, mathematiſch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. *Saggio di esperienze elettro metriche del D. St. Marianini. Venezia* 1825. Maßbeſtimmungen über die galvaniſche Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. Der Supplementband enthält viel hierher Gehöriges.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Nachleſe.

Dritter Theil.

Schilderungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerſcheinungen zur Kenntniß der Naturgeſetze geleitet wird und alſo jene vorzugsweiſe zur Entdeckung dieſer gebraucht werden; eben ſo kann man auch die einmal klar erkannten Naturgeſetze wieder benützen, um daraus Naturerſcheinungen zu erklären. Vorzüglich intereſſant iſt dieſes, wenn man die bereits bewieſenen Geſetze der Sinnenwelt auf die Erſcheinungen anwendet, welche im Großen auf unſerer Erde, in der Atmoſphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Dieſe Erſcheinungen auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenſtand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die phyſiſche Geographie, Meteorologie und Aſtronomie zerfällt, wovon es die erſte mit der Beſchaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erſcheinungen in der Atmoſphäre und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortſchritte, welche man bis jetzt in dieſen ſehr wichtigen Zweigen des menſchlichen Wiſſens gemacht hat, ſind ſehr ungleich. Die Aſtronomie hat ſich auf den Flügeln der mathematiſchen Analyſe zu einer ſolchen Höhe und Vollkommenheit erhoben, daß ein vollſtändiger Unterricht hierin allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunſtgriffen der Mathematik ausgerüſtet ſind; die phyſiſche Geographie und Meteorologie liegen hingegen faſt noch in der Wiege und erwarten erſt von der reinen Naturlehre Wachsthum und Gedeihen.

Erſter Abſchnitt.

Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel.

Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erſcheint die Erde im ſo-genannten platten Lande als eine horizontale Ebene, und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt und an welchem ſich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle dieſe Himmelskörper ſcheinen von uns gleich weit entfernt zu ſeyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdiſcher Gegenſtände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlaſſen und wir daher keinen Grund zu haben glauben, einen näher als den anderen anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die **Himmelskugel** oder **Himmelsſphäre**.

4. Wer blos nach ſinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden zu meinen, die Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere Hälfte von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern ſieht. Allein ſchon die ſehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne ſtark beſchienenen Orte gar nicht geſehen wird, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne blos wegen des unzähligemal ſtärkeren Sonnenlichtes nicht ſehen; darin wird man noch mehr durch den Umſtand beſtärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen überſäet iſt, wovon nach Sonnenaufgang kaum einer mit freiem Auge bemerkt wird. Zur vollen Gewißheit iſt dieſe Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelſt eines guten Fernrohrs ſelbſt bei hellem Tage Sterne ſehen kann.

5. Die Erſcheinungen, welche wir täglich an Sonne und Mond bemerken, nämlich, daß ſie an einer Himmelsgegend, die

man Aufgangsgegend, Orient, Oſt nennt, auf- und an der entgegengeſetzten, welche Abend, Untergang, Occident, Weſt heißt, untergehen, bieten ſich uns auch an den Sternen dar, bis auf einige wenige, die nur eine ſcheinbare Ausnahme von dem allgemeinen Geſetze machen, ſo daß die Bewegung von Oſt nach Weſt dem ganzen Himmel gemein iſt. Sie heißt tägliche Bewegung, weil ein Tag von einem Auf- oder Untergange bis zum nächſt folgenden verfließt.

6. Unter den Sternen gibt es einige, die immer an demſelben Puncte des Horizontes auf- und untergehen und beſtändig dieſelbe Lage gegen einander beibehalten ſo, daß man erſt nach einer Reihe von Jahren eine kleine Änderung ihrer relativen Lage bemerkt. Dieſe heißen Fixſterne *(stellae fixae)*; ſie machen bei weitem den größten Theil der ſichtbaren Himmelskörper aus. Andere hingegen gehen faſt täglich an einem anderen Puncte der Oſtgegend auf, beſchreiben bald größere, bald kleinere Bögen, und ändern ihre Lage gegen einander und gegen die Fixſterne. Dieſe heißen Irrſterne, Planeten *(planetae)*. Von beiden verſchieden ſind die Cometen *(cometae)*, welche meiſtens einen lichten Schweif oder Ring um ſich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erſcheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinſtimmen; die Folge wird aber lehren, daß ſie doch nicht zu den Planeten zu zählen iſt, weil dieſe Übereinſtimmung nur ſcheinbar iſt.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♁, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Veſta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ♅, nebſt 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn ſieben und Uranus ſechs hat. Der vorletzte Planet iſt überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentriſchen Theilen beſteht. Uranus ward 1781 von Herſchel, Ceres 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding, Veſta 1807 von Olbers entdeckt, die übrigen waren ſchon den Alten bekannt. — Es iſt aus dem Vorhergehenden klar, daß die Planeten nebſt der dem ganzen Himmel gemeinſchaftlichen täglichen Bewegung auch noch eine eigene haben müſſen. Man nennt ſie ihre jährliche Bewegung. Sie ſind der Erde ohne Vergleich näher als die Fixſterne und erſcheinen im Geſichtsfelde guter Fernröhre als voll-

kommene Scheiben; an den meiſten bemerkt man ſogar Flecken, die ihre Lage gegen den Rand der Scheibe verändern und darum auf eine Axendrehung ſchließen laſſen.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunct ankommt, von dem man ſie beobachtet; ſo muß zuerſt der Ort der Erde in der Himmelsſphäre näher beſtimmt werden. Zu dieſem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der Abſtand zweier fixer Puncte an der Himmelsſphäre, z. B. zweier Fixſterne, von einander, von derſelben Größe erſcheint, dieſe Puncte mögen gerade auf= oder untergehen oder ſich in was immer für einer Lage zwiſchen dem Auf= und Untergange befinden und deutet hierdurch an, daß der Punct, für welchen dieſes Statt findet, als Mittelpunct der Himmelsſphäre angeſehen werden könne. Da dieſes von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt und zwei Fixſterne überall einen gleichen Abſtand von einander zu haben ſcheinen; ſo muß auch jeder Punct der Erde als Mittelpunct der Himmelsſphäre angeſehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelsſphäre verſchwinden.

9. Jeder Punct der Himmelsſphäre beſchreibt vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis. Iſt die Lage dieſes Kreiſes beſtimmt und zugleich bekannt, in welchem Puncte desſelben ſich ein Stern befindet, den man als fixen Punct der Himmelsſphäre betrachten kann, wie dieſes mit den Fixſternen der Fall iſt; ſo iſt die tägliche Bewegung dieſes Sternes gegeben. Zum Behufe dieſer Beſtimmungen muß man jeden Punct des Himmels auf Ebenen beziehen können, welche die Coordinatenebenen (1.80) vorſtellen, nach denen überhaupt ein Punct im Raume beſtimmt werden kann. Weil aber hier alle Puncte gleichſam an der Himmelsſphäre erſcheinen, ſo bedarf man nur zwei ſolcher Ebenen, oder weil dieſe die Himmelsſphäre in Kreiſen ſchneiden, zwei Kreiſe. Dieſe Ebenen oder Kreiſe wird man am beſten durch die tägliche Bewegung ſelbſt beſtimmen.

10. Stellt ſich der Beobachter ſo, daß ſeine rechte Seite nach Oſt, ſeine linke nach Weſt gerichtet iſt; ſo ſieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, ſo bemerkt man, daß einige nie untergehen, ſondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beſchreiben. Dieſer Kreis iſt deſto größer, je näher der Stern bei ſeiner tiefſten Stellung dem Geſichtskreiſe kommt. Man nennt ſolche Sterne Circumpolarſterne. Hieraus kann man wohl ſchließen, daß auch die anderen Sterne, welche auf- und untergehen, einen ganzen Kreis beſchreiben und daß ein Theil desſelben nicht für uns ſichtbar ſey, weil er unter dem Horizonte liegt; alles dieſes wird erſt zur vollen Gewißheit, wenn man beobachtet, daß Sterne, die nur kurze Zeit unſichtbar ſind und unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarſternen werden, wenn man ſich näher nach Norden begibt, während andere, die nach Süden zu liegen und in unſeren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte verweilen, ganz unſichtbar werden. Reiſet man in ſüdlichere Länder, ſo erfährt man das Gegentheil; da verſchwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz und ſüdlich liegende, uns ganz unſichtbare, werden ſichtbar; ja in Südamerika und in vielen anderen ſüdlichen Gegenden gibt es Circumpolarſterne, die bei uns gar nie aufgehen.

11. Weil die Fixſterne immer in derſelben Lage gegen einander bleiben, ſo müſſen ſie bei der täglichen Bewegung Kreiſe beſchreiben, deren Ebenen mit einander parallel ſind uud deßhalb Parallelkreiſe heißen. Die ganze Bewegung geſchieht um eine gemeinſchaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt und in unſeren Gegenden gegen den Horizont geneigt erſcheint. Die Puncte der Himmelsſphäre, welche die Axe trifft, heißen die Pole und zwar der gegen Norden liegende, der Nordpol, der andere der Südpol. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinſten Parallelkreis beſchreibt und deßhalb auch Polarſtern genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt Äquator, der Punct am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt Zenith, der ihm gerade entgegengeſetzte, Nadir. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene heißt Mittagsebene. Sie theilt den Bogen, den

die Sterne über dem Horizonte beſchreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben ſie den größten und kleinſten Abſtand vom Horizont, d. i. die größte und kleinſte Höhe. Iſt ein Geſtirn im Meridiane, ſo ſagt man, es culminire. Der Durchſchnittspunct des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der Südpunct. Sonſt heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein Abweichungskreis. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunct der Himmelsſphäre geht und mit dem Äquator einen Winkel von etwa $23\frac{1}{2}°$ einſchließt, heißt Ecliptik, und ein auf der Ecliptik ſenkrechter und durch einen Pol derſelben gehender Kreis wird Breitenkreis genannt. Die Ecliptik ſowohl als die Äquatorialebene ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen und dieſe beiden Kreiſe ſchneiden ſich ſelbſt wieder in zwei Puncten. Einer davon heißt Frühlingsnachtgleichepunct, der andere Herbſtnachtgleichepunct. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunct gehende Abweichungskreis wird als der erſte Abweichungskreis angeſehen. Eine auf dem Horizonte ſenkrechte Ebene heißt Verticalebene. Sie ſowohl als der Horizont ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen. Der Horizontalkreis führt den Namen Azimuthalkreis.

Stellt (Fig. 328) *C* den Ort eines Beobachters vor, *CZ* die durch *C* gehende Verticale, *Z* ſein Zenith, *Hh* den Horizont, *P* den Nordpol, *p* den Südpol, *Pp* die Weltaxe, *Aa* eine durch *C* gehende, auf *Pp* ſenkrechte Ebene; ſo iſt *Aa* die Ebene des Äquators, *PapA* die des Meridians, und die mit *Aa* parallelen Kreiſe *Bb*, *Dd*, *Ee* *Ff*, *Gg*, *Kk*, *Ll*, Parallelkreiſe, wovon *Ff* und *Ee* ganz über dem Horizonte liegen, während andere ſolche Kreiſe vom Horizonte geſchnitten werden, ſo daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erſtere Theile heißen Tagbögen, letztere Nachtbögen. *Mm* iſt die Ecliptik, *V* der Frühlingsnachtgleichepunct, *PN* ein Stück eines Breitenkreiſes, *HPh* iſt zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieſer Kreiſe, wohl auch alle kann man an einer Ringkugel oder an einer künſtlichen Himmelskugel vorſtellen.

12. Zur Beſtimmung eines Punctes am Himmel dienen mehrere der genannten Ebenen und Kreiſe und zwar: 1) Ein Abweichungskreis und der Äquator. 2) Ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis). 3) Ein Breitenkreis und die Ecliptik. Bevor man zur Beſtimmung einzelner Puncte ſchreitet, müſſen aber dieſe Ebenen und Kreiſe ſelbſt beſtimmt ſeyn.

13. Den genaueſten Beobachtungen gemäß iſt die tägliche Bewegung eine gleichförmige; daher müſſen die zwei Theile eines Parallelkreiſes, welche zu beiden Seiten des ihn ſchneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, das ſich um eine horizontale Axe drehen kann, ſo, daß ein in der Axe des Rohres vertical geſpannter, ſehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarſternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; ſo bewegt ſich dieſes Fernrohr im Meridiane und dieſer iſt daher ſeiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr ſo zu ſtellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein Mittagsrohr oder Paſſageinſtrument und ſpielt in der practiſchen Aſtronomie eine große Rolle. Im Geſichtsfelde dieſes Fernrohres ſind mehrere ſehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgeſpannt, wovon einer horizontal ſteht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von dieſen befindet ſich genau in der Ebene des Meridians, die anderen ſind in gleichen Abſtänden von dieſem zu beiden Seiten angebracht. Mittelſt eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel beſtimmen, den die Axe des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltaxe und iſt daher in ihr durch den Winkel gegeben, den ſie mit dem Horizonte macht und den man Polhöhe nennt. Er iſt gleich der halben Summe aus der größten und kleinſten Höhe eines Circumpolarſternes. In Fig. 328 iſt PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemeſſen, ferner Fh die größte, fh die kleinſte Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$. Iſt einmal die Polhöhe bekannt, ſo braucht man zur Beſtimmung der Lage des Äquators nur den Winkel zu kennen, den dieſer mit dem Horizonte macht. Er heißt die Äquatorshöhe und iſt das Complement der Polhöhe. In Fig. 328 ſtellt ACH dieſen Winkel vor, für welchen man hat $ACH = hCa = PCa - PCh = 90° - PCh$. Es iſt demnach der Äquator und daher auch jeder darauf ſenkrechte Kreis durch das Vorausgegangene beſtimmt. Die Beſtimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene iſt für ſich klar und von der Beſtimmung der Ecliptik wird in der Folge die Rede ſeyn.

14. Ein Punct am Himmel iſt beſtimmt, wenn man ſeinen Abſtand von zwei der vorhergehenden zuſammengehörigen Ebenen (Kreiſen) kennt. Es iſt aber dieſer Abſtand nicht als gerade Linie, ſondern als Kreisbogen zu verſtehen. Weil nun von den zwei Kreiſen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punct beſtimmen kann, einer auf dem anderen ſenkrecht ſteht; ſo wird ſtets der Abſtand eines Punctes von einem dieſer Kreiſe durch einen Bogen des anderen gemeſſen werden. Der Abſtand eines Punctes vom Äquator heißt ſeine *Abweichung*, der Abſtand vom erſten Abweichungskreiſe ſeine *gerade Aufſteigung*. Die Abweichung iſt nördlich oder ſüdlich, je nachdem ſich der fragliche Punct in der nördlichen oder ſüdlichen Halbkugel befindet. Der Abſtand eines Punctes vom Horizonte heißt deſſen *Höhe*, der Abſtand vom Höhenkreiſe, welcher durch den Südpunct geht, ſein *Azimuth*. Der Abſtand von der Ecliptik heißt die *Breite*, der Abſtand vom Breitenkreiſe, der durch den Frühlingsnachtgleichepunct geht, ſeine *Länge*. Man kann jede dieſer Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zuſammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichſten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufſteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punctes beobachtet und davon die Äquatorshöhe abzieht. Iſt z. B. B (Fig. 328) dieſer Punct, ſo iſt HB ſeine Mittagshöhe, HA die Äquatorshöhe und $BH - AH = BH$ ſeine Abweichung. Um die gerade Aufſteigung x zu beſtimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwiſchen den Culminationen des Punctes, um den es ſich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunctes vergeht und dann ſo geſchloſſen: Da in 24 Stunden 360° des Äquators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; ſo müſſen in der Zeit t durch denſelben $x°$ gehen und man hat $x = 15t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemſten mittelſt eines Theodolithes. Dieſer beſteht aus zwei concentriſchen, horizontalen Kreiſen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieſes Inſtrument ſo, daß der Nullpunct des horizontalen Kreiſes in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunct des verticalen mit der horizontalen Axe des Fern=

rohrs in einerlei Höhe liegt; ſo ſchneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohrs der Index am horizontalen Kreiſe das Azimuth, der am verticalen die Höhe des Punctes ab, den man in der Mitte des Geſichtsfeldes des Fernrohrs ſieht.

Drittes Kapitel.

Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erſcheinungen, die ſich nicht anders erklären laſſen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex ſey. Die vorzüglichſten dieſer Erſcheinungen ſind folgende: Wenn man von Weſt nach Oſt reiſet, ſo bemerkt man, daß die Sonne immer deſto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer ſolchen fortgeſetzten Reiſe kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu ſeyn. Begibt man ſich von Süden weiter nach Norden, ſo erhebt ſich der Nordpol im Verhältniſſe zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere Sterne Circumpolarſterne, während am ſüdlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu ſtehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Vorzüglich gehört hierher die Art, wie ſich entfernte Gegenſtände zur See oder in großen Ebenen zeigen, wenn man ſich ihnen nähert und wenn man ſich von ihnen entfernt. So z. B. erblickt man an einem fernen Schiffe, dem man ſich nähert, zuerſt nur den oberſten Theil des Maſtbaumes, und wenn ſich ein Schiff entfernt, ſo verliert ſich zuerſt der unterſte Theil aus dem Geſichtskreiſe. — Was es für eine Krümmung ſey, die der Erde zukommt, iſt durch alle dieſe Gründe noch nicht ausgemacht. Wie ſie aber immer beſchaffen ſeyn mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß die Erde einer Kugel ſehr nahe kommt, weil ihr Schatten bei Mondesfinſterniſſen immer kreisrund erſcheint. Berge und Erhabenheiten, die ſich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieſes nicht umſtoßen, weil ſie gegen die Größe der Erde ganz verſchwinden ſo, daß die höchſte Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform ſo wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmeſſer.

18. Die Erſcheinungen der täglichen Bewegung laſſen ſich auf

eine zweifache Art erklären. Entweder bewegen ſich wirklich alle Fixſterne in 24 St. von Oſt nach Weſt um die Erde oder es dreht ſich die Erde in derſelben Zeit von Weſt nach Oſt um ihre Axe. Der Sinn des Geſichtes kann hierin eben ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenſtände aufwärts gehen. Es müſſen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung ſprechen.

19. Schon der Umſtand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig ſehr kleinen Körpers die Erſcheinungen eben ſo hervorbringt, wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Maſſen, muß die Axendrehung der Erde wahrſcheinlich machen, aber noch mehr muß dieſe Wahrſcheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieſer Körper in Betrachtung zieht. Es iſt gewiß, daß der nächſte Fixſtern wenigſtens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmeſſern hat. Geht er in 24 St. um die Erde, ſo muß er einen mehr als ſechsmal größeren Kreis beſchreiben und daher eine Geſchwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000 mal übertrifft. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, ſo darf jeder Punct des Äquators nur 5400 geog. Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geſchwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles iſt. Zu dieſem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß dieſe ſogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum ſoll gerade die Erde von dieſem Geſetze ausgenommen ſeyn?

20. Die Wahrſcheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechaniſcher Gründe zur völligen Gewißheit erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunct in der Erde liegen müßte. Was ſollte aber das für eine Kraft in der Erde ſeyn, die ſich ſo weit erſtreckte und im Stande wäre, die ungeheuren Maſſen mit ſo großer Geſchwindigkeit herumzutreiben? wie ließe es ſich erklären, daß durch dieſe Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß ſehr verſchieden iſt, in derſelben Zeit um ſie herumgeführt würden, ſo daß ihre wahre Geſchwindigkeit im Verhältniſſe mit der Entfernung wüchſe, während alle anderen Kräfte deſto ſchwächer werden, je weiter ſich ihre Wirkſamkeit erſtreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper,

welche im Äquator ſtehen, ſo große Kreiſe beſchreiben, und daß dieſe Kreiſe gegen die Pole zu immer kleiner werden?

21. Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, ſo muß ſie ſich auch auf die Atmoſphäre erſtrecken. Ihre oberen Theile müſſen ſich ſchneller bewegen, als die unteren und daher bewirken, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Oſten von der verticalen Linie abweicht. Auch davon überzeugt man ſich durch die Erfahrung, wie Benzenberg's Verſuche beweiſen. Aus allem dieſen ſieht man, daß man für die Axendrehung der Erde ſo viele Beweiſe hat, daß nur jene noch daran zweifeln können, die überhaupt nicht zu überzeugen ſind.

22. Dieſen Gründen gemäß beſchreibt jeder Punct der Erde einen Kreis und nur zwei in einer durch den Mittelpunct der Erde gehenden, geraden Linie liegende Puncte ſind von dieſer Bewegung ausgenommen. Dieſe Puncte ſind die Pole der Erde und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengeſetzte der Südpol. Obige gerade Linie heißt die Erdaxe. Die verlängerte Erdaxe ſtellt die Himmelsaxe vor. Demnach iſt letztere durch erſtere beſtimmt. Die Kreiſe, welche einzelnr Puncte der Erde bei ihrer Axendrehung beſchreiben, ſind mit einander parallel und heißen daher mit Recht Parallelkreiſe der Erde. Der größte Parallelkreis iſt der Äquator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators und dieſer wird, ſo wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe beſtimmt. Man kann nun, dieſes Zuſammenhanges wegen, die bekannte Lage der genannten Linien und Ebenen am Himmel dazu benützen, um die Lage eines Ortes auf der Erde zu beſtimmen. So wie ein Punct am Himmel durch Abweichung und gerade Aufſteigung beſtimmt wird, eben ſo iſt ein Punct auf der Oberfläche der Erde durch ſeine Breite und Länge gegeben.

23. Die Breite eines Ortes wird gemeſſen durch den Bogen ſeines Meridians, der zwiſchen ihm und dem Äquator liegt. Sie heißt nördliche oder ſüdliche Breite, je nachdem der Ort dem Nordpole oder dem Südpole näher liegt, und iſt immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es ſey C (Fig. 329) der Mittelpunct der Erde, wovon $ApbB$ einen durch die Pole gehenden Durchſchnitt vorſtellt, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, AZ ſeine Verticale, AH ſein ſcheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entſprechende Pol am Himmel, Bb der Äquator der Erde, mithin ACB die Breite

von A. Wegen der gegen die Himmelsſphäre verſchwindenden Größe der Erde kann man die Richtung AP', nach welcher P von A aus geſehen wird, mit CP parallel annehmen und $P'AH$ als die Polhöhe von A anſehen. Unter dieſer Vorausſetzung iſt $BCA = P'AH$, weil die Seiten dieſer Winkel auf einander ſenkrecht ſtehen.

Dieſer Satz ſetzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreiſe der Himmelsſphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe vorausſagen und angeben zu können, daß dieſe unter dem Äquator auf dem Horizonte ſenkrecht ſtehen, unter dem Pole mit ihm parallel laufen und daß dieſe Ebenen nur außer den Polen und außer dem Äquator eine ſchiefe Lage gegen den Horizont haben.

24. Die Länge eines Ortes iſt der Winkel, den der Meridian dieſes Ortes mit irgend einem bekannten, als erſten angenommenen Meridiane macht. Sie wird mithin durch den zwiſchen beiden Meridianen gelegenen Bogen des Äquators gemeſſen. Ptolomäus zog ſeinen erſten Meridian durch die canariſchen Inſeln, als die äußerſte, weſtliche Grenze des damals bekannten Continents, und viele nehmen noch heut zu Tage den durch Ferro gezogenen Mittagskreis für den erſten an, aber meiſtens zieht jede Nation durch ihr vorzüglichſtes Obſervatorium ihren Hauptmeridian. Je nachdem ein Ort öſtlich oder weſtlich vom erſten Meridiane liegt, hat er auch eine öſtliche oder eine weſtliche Länge. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß alle Aſtronomen und Geographen denſelben Meridian als erſten annähmen, oder doch einen ſolchen, der durch einen unveränderlichen, immer wieder beſtimmbaren Punct der Erde geht. Fängt man in zwei Orten, deren Längenunterſchied zu finden iſt, die Zeit mit der Culmination desſelben Sternes zu zählen an; ſo muß der Zeitunterſchied t beider Orte, in demſelben Augenblicke, nach der Proportion $24 : t = 360 : x$ die geſuchte Längendifferenz geben. Deßhalb dienen zur Beſtimmung dieſer Differenz vorzüglich Uhren, die ſich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum anderen tragen laſſen, oder ſolche Phänomene, die in beiden Orten zugleich geſehen werden können oder bei denen der Zeitunterſchied ihres Erſcheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuerſignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinſterniß oder einer Verfinſterung der Jupiterstrabanten, Sternbedeckungen durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond ꝛc. ꝛc. Liegt einer der beiden Orte im erſten Meridiane; ſo iſt hiedurch zugleich

die abſolute Länge des anderen gegeben. Dasſelbe findet Statt, wenn die Länge des einen der beiden Örter ſchon aus vorläufigen Beobachtungen bekannt iſt. Man braucht daher nur die Länge eines Ortes unmittelbar nach dem erſten Meridiane zu beſtimmen, die Längen der übrigen ergeben ſich, indem man ſtets einen Ort mit einem ſchon früher beſtimmten vergleicht.

25. Wiewohl die Beſtimmung der geogr. Länge und Breite für das feſte Land von der größten Wichtigkeit iſt, weil man dadurch manches ſchon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu beſtimmen vermochte und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; ſo hat ſie doch für den Seefahrer noch größeren Vortheil, indem dieſer dadurch in den Stand geſetzt wird, den Ort ſeines Schiffes in jedem Augenblicke anzugeben, die Sicherheit ſeines Weges und die Zweckmäßigkeit ſeiner Richtung zu beurtheilen. Leider ſind zur See viele Mittel, die man auf dem feſten Lande zur Beſtimmung der Länge anwenden kann, faſt ganz unanwendbar, wiewohl man ſie da am meiſten bedürfte, und man muß oft, wenn Wolken den Anblick der Geſtirne und hiemit alle Mittel, die der Himmel darbietet, rauben, aus der blos oberflächlich geſchätzten Geſchwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen, beſonders wenn einem keine genaue Uhr zu Gebote ſteht, die allen Schwankungen des Schiffes und den zur See ſtark einwirkenden äußeren Einflüſſen trotzt. (Siehe: kurze Geſchichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Haſſenkamp. Rinteln 1774. *Zach de vera longitudine et latitudine. Erfurt* 1790.)

26. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand geſetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßſtabe vorſtellt, alle Ortſchaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichſten Projectionsarten für Landkarten ſind folgende:

1. Die orthographiſche, welche entſteht, wenn man ſich an einem Puncte der Erde B (Fig. 330) eine berührende Ebene BC denkt und von den zu bezeichnenden Puncten der Erdoberfläche abc die auf BC Senkrechten aa', bb', cc', zieht. Iſt der Berührungspunct ein Pol, ſo heißt dieſe Projection orthographiſche Polarprojection. Da ſind alle Parallelkreiſe wieder Kreiſe in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die ſtereographiſche Projection. Bei dieſer denket man ſich das Auge O

(Fig. 331) in einem Puncte der Kugeloberfläche, welche dem zu entwerfenden Lande gegenüberſteht und die Projectionsebene als einen größten Kreis, deſſen Durchſchnitt *AB* iſt. Wenn man die Projectionsebene in den Äquator legt, ſo erſcheinen die Meridiane als gerade Linien, die Parallelkreiſe als Kreiſe und *O* ſtellt den Pol vor. Die Bögen *Aa*, *ab*, *bc* der Kugeloberfläche werden auf *AB* durch *Aa' a'b'*, *b'c'* vorgeſtellt, welche man bekommt, indem man von *A'*, *a*, *b*, *c* gerade Linien nach dem Auge *O* zieht. Nach dieſen Projectionen wird aber eine Karte dem Urbilde nicht allenthalben ähnlich. 3. Die Kegelprojection. Dieſe braucht man zur Darſtellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel *abc* (Fig. 332) die Kugelfläche in der Zone *bdce*, ſo erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreiſe *de*, *bc* als Kreisbögen von den Halbmeſſern *da*, *ba*, und die Meridiane werden gerade in *a* zuſammenlaufende Linien. — Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreiſe und Meridiane als gerade, ſich unter rechten Winkeln ſchneidende Linien ſo, daß ſie Rechtecke bilden, oder wenn dieſes nicht wohl angeht, ſo vermindert man die Grade der äußerſten Parallelkreiſe im gehörigen Verhältniſſe gegen die der Meridiane und verbindet dann die Theilungspuncte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken deſto mehr abweichen, je größer der Breitenunterſchied der äußerſten Parallelkreiſe iſt. — Seekarten werden am zweckmäßigſten nach einer Projection entworfen, vermög welcher die Meridiane und Parallelkreiſe Rechtecke mit einander machen, ſo daß die Grade der Parallelkreiſe einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demſelben Verhältniſſe wachſen, in welchem die Grade der Parallelkreiſe der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt ſie Mercators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während ſie auf der Kugel krumme Linien, ſogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert: Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practiſchen Geometrie. Erlangen 1815. 4 Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretiſche und practiſche Aſtronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

27. Aus der durch obige Gründe bewieſenen Bewegung der Erde läßt ſich ſchon ſchließen, daß ſie keine ſphäriſche Geſtalt haben könne, ſondern an den Polen etwas abgeplattet ſeyn müſſe, wenn ſie ſich ja einmal in einem Zuſtande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entſtandene Fliehkraft mußte die Schwere am Äquator am meiſten vermindern und daſelbſt eine Protuberanz, an

den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Man iſt ſogar im Stande, die Größe der Abplattung der Erde blos aus der bei ihrer Axendrehung entſtehenden Fliehkraft oder aus der Wirkung, die der Mond auf die Erde wegen ihrer Abplattung ausübt, zu berechnen. Sie läßt ſich aber auch durch Meſſungen der Meridiangrade in verſchiedenen Breiten und durch Beobachtung der Pendellänge an verſchiedenen Orten finden. Zum Behufe der Gradmeſſungen wird zuerſt der Unterſchied der Polhöhe zweier Örter beſtimmt. Da dieſer die Größe des dazwiſchen gelegenen Bogens des Meridians in Graden angibt; ſo kann man, wenn er geometriſch nach Klaftern beſtimmt iſt, hieraus auf die Größe eines Grades ſchließen. Dieſe Meſſungen, auf ſolche Art vorgenommen, zeigen bald, daß die Meridiangrade in verſchiedenen Breiten eine verſchiedene Größe haben und mit der Breite zunehmen, mithin daß die Erde an den Polen abgeplattet ſey. Nimmt man nun an, die Erde ſey ein durch Umdrehung einer Ellipſe entſtandenes Sphäroid, ſo reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterſchied zwiſchen der großen und kleinen Halbaxe der Ellipſe, d. i. die Differenz zwiſchen der halben Axe des Äquators und jener des Meridians der Erde zu beſtimmen. Man nennt dieſen Unterſchied, in Theilen der Axe des Äquators ausgedrückt, die Größe der Abplattung oder die Ellipticität der Erde. Indeß ſind die bei den Gradmeſſungen ſo leicht zu begehenden Beobachtungsfehler ſo zahlreich, daß es wohl zu gewagt ſcheint, alles bis ins kleinſte Detail für wahr zu halten, was daraus folgt; ja ſelbſt bei völliger Fehlerloſigkeit der Meſſungen kann ſchon der Umſtand die daraus gemachten, auf die ganze Erde ausgedehnten Folgerungen ſehr verdächtig machen, daß die Geſtalt einzelner Unregelmäßigkeiten der Oberfläche der Erde, welche in die gemeſſenen Grade fallen, von einem elliptiſchen Sphäroide abweicht. — Um die Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen abzuleiten, muß man die Länge des Secundenpendels an Orten von ſehr verſchiedener Breite beſtimmen, von dieſer das Verhältniß der Schwere in dieſen Stationen ableiten und aus dieſem Verhältniſſe auf das der Entfernung der Stationen vom Centrum der Erde ſchließen. Wenn man die Reſultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmeſſungen und Pendelbeobachtungen mit einander vergleicht; ſo findet man leider ſo große Differenzen, daß man die Aufgabe noch keinesweges für vollkommen gelöſt halten darf. Aus der Größe der Fliehkraft folgt nach

Yvory eine Abplattung von $\frac{1}{289}$; aus aſtronomiſchen Beſtimmungen $\frac{1}{296.1}$, aus den Gradmeſſungen (nach Laplace) im Mittel $\frac{1}{306}$ und aus den Pendelbeobachtungen (nach Sabine) $\frac{1}{289.1}$. Unter allen dieſen verdient das aus Pendelbeobachtungen abgeleitete Reſultat das meiſte Zutrauen.

28. Nimmt man die Abplattung von $\frac{1}{289.1}$ vor der Hand als richtig an; ſo erhält man folgende Größen, welche die Geſtalt und Dimenſionen der Erde näher beſtimmen:

Halber Durchmeſſer des Äquators . . . . =	3271952	Toiſen.
Halbe Axe	3260634	„
Halbmeſſer für 45°	3266260	„
Halbmeſſer eines Kreiſes, der mit dem Meridiane von gleicher Größe iſt	3266295	„
Halbmeſſer einer Kugel von gleichem Inhalte mit dem Erdellipſoide	3268175	„
Länge eines Meridianquadranten	1347.667	Meil.
Kubikinhalt der Erde nahe	2650686000	K. M.

(Brandes in Gehler's Wörterbuch B. 3. S. 832 u. f.)

29. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelsſphäre verſchwindet und daher der ſcheinbare Ort eines Punctes dieſer Sphäre von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig iſt; ſo iſt doch ein Erdhalbmeſſer nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verſchwindend klein und es hängt der ſcheinbare Ort dieſer Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt *AB* (Fig. 333) einen Durchſchnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte *A* und *B* geht, *abc* den Durchſchnitt der Himmelsſphäre, an welcher uns die Himmelskörper erſcheinen; ſo wird ein Stern *S* von *A* aus geſehen in *s'*, von *B* aus geſehen in *s* erſcheinen. Der Winkel *ASB*, den die Geſichtslinien *AS* und *BS* in *S* machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinſtimmende Reſultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verſchwindet, auf den Ort, wo ſie vom Mittelpuncte der Erde aus erſcheinen. Iſt *C* (Fig. 333) der Mittelpunct der Erde und eines Durchſchnittes derſelben, welcher in einer durch den Stern *S* und den Beobachtungsort *A* gehenden Verticalebene liegt; ſo erſcheint *S* von *C* aus geſehen im Puncte *s''* der Himmelsſphäre; mithin muß die ſcheinbare Höhe des

Sternes um die Parallaxe $AS'C$ vermehrt werden, damit man ſeine wahre Höhe finde. Daß dieſe Parallaxe immer kleiner werde, je mehr ſich S' dem Scheitelpuncte nähert, und daß ſie im Zenith ſelbſt verſchwinde, iſt klar. Ähnliche Correctionen müſſen auch an der Abweichung und geraden Aufſteigung eines ſolchen Geſtirnes angebracht werden, um ſie vom Einfluſſe des Standortes auf der Erde zu befreien.

30. Man hat verſchiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die deſto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde ſteht. Um aber die Parallaxe vom Einfluſſe der Höhe des Geſtirnes, bei dem ſie gefunden wurde, zu befreien, muß man ſie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizont hat. Iſt $ASC = h$ die Horizontalparallaxe des Sternes S, $AS'C = a$ die Höhenparallaxe desſelben Sternes S', $AC = r$ der Erdhalbmeſſer; ſo hat man: $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin, weil $SC = S'C$ iſt,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

31. Die Parallaxe eines Geſtirnes S dient oft zur Beſtimmung ſeiner Entfernung vom Mittelpuncte der Erde und ſeiner Größe. Denn im Dreiecke ASC iſt $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man ſich einen Beobachter in S, ſo erſcheint ihm der Halbmeſſer der Erde AC unter dem Winkel $ASC = h$. Beſtimmt man nun den ſcheinbaren Halbmeſſer ρ des Geſtirnes von der Erde aus geſehen, ſo muß er ſich zu ſeiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmeſſer des Geſtirns R zum Halbmeſſer der Erde r, oder es iſt $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h}\, r$ und für $r = 1$ wird $R = \frac{\rho}{h}$.

Über dieſes Kapitel ſiehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematiſchen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathematiſche Erdbeſchreibung von Hochſtetter. Stuttgard 1820. *La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris* 1787 — 1788. Lehrbuch der math. und phyſiſchen Geographie von

Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der math. und phyſiſchen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als 2ter Theil ſeines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

32. Schon der Umſtand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne ſchmücken und daß erſt nach einem Jahre wieder dieſelben zum Vorſchein kommen, zeigt, daß der Sonne nebſt der täglichen Bewegung, die ſie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müſſe; allein noch mehr überzeugt man ſich davon und zugleich von der Richtung dieſer Bewegung, wenn man einen Fixſtern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein ſolcher Fixſtern mit der Sonne zugleich aufgeht, ſo wird man bald bemerken, daß erſterer ſchon nach einigen Tagen der Sonne gleichſam vorauseile, nach ungefähr drei Monaten ſchon culminire, wenn dieſe aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe und daß erſt nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieſelbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne iſt daher der täglichen entgegengeſetzt.

33. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelsſphäre kennen gelernt, indem man aus der Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterſchiede zwiſchen ihrer Culmination und der eines Fixſternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreiſe ſchloß; denn die Reſultirende beider Bewegungen gibt die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß dieſe Bahn in einer Ebene liege, die den Äquator ſchneidet und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von 66° 32′ geneigt ſey. Der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Himmelsſphäre gibt einen Kreis am Himmel, der ſchon früher (11) unter dem Namen **Ecliptik** vorkam und deſſen Neigung gegen den Äquator die

Schiefe der Ecliptik genannt wird. Die Puncte, wo die Ecliptik den Äquator ſchneidet, ſind ſchon vorhin Äquinoctialpuncte genannt worden und zwar derjenige, in welchem ſich die Sonne im Anfange des Frühlings befindet, Frühlingsäquinoctialpunct, der andere, den die Sonne im Herbſtanfange einnimmt, Herbſtäquinoctialpunct. Der nördlichſte und ſüdlichſte Punct der Ecliptik heißt Solſtitialpunct, und zwar jener Sommerſolſtitialpunct, dieſer Winterſolſtitialpunct; die durch ſie gehenden Parallelkreiſe führen den Namen Wendekreiſe. Die Parallelkreiſe, in welchen die Pole der Ecliptik liegen, nennt man Polarkreiſe. Die Meridiane, welche durch die Solſtitial- und Äquinoctialpuncte gehen, heißen Coluren. Schon in den älteſten Zeiten hat man die Ecliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon alſo jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche und führen der Ordnung nach die Zeichen: ♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

34. Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpuncte zum Herbſtäquinoctialpuncte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher ſie von dieſem Puncte zu jenem gelangt; ſo findet man, daß ſie zu erſterem Wege faſt um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es iſt daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn keine gleichförmige. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geſchwindigkeit der Sonne in einem Puncte ihrer Bahn am größten ſey, der ſich in der Nähe des Winterſolſtitialpunctes befindet, daß ſie von da an immer kleiner, in einem dem Sommerſolſtitium nahen Puncte am kleinſten werde und von hier aus gegen erſteren wieder wachſe. Mit der größten Geſchwindigkeit beſchreibt ſie täglich einen Bogen von 1°.0104, mit] der kleinſten einen Bogen von 0°.9534, und ihrer mittleren Geſchwindigkeit entſpricht ein Bogen von 0°.9856. Dieſe Änderungen der Geſchwindigkeit könnten auch ſcheinbar ſeyn und durch eine Änderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derſelbe Bogen erſcheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt iſt. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geſchwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme und daß ihre Entfernung von der Erde wachſe,

wenn ihre Geſchwindigkeit im Abnehmen begriffen iſt; denn ihr ſcheinbarer Durchmeſſer, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältniſſe ſteht, nimmt in jenem Falle zu, in dieſem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geſchwindigkeit der Sonne blos von ihrer Entfernung abhingen und an und für ſich ihre Geſchwindigkeit beſtändig wäre; ſo müßte ſich ihr ſcheinbarer Durchmeſſer gerade in demſelben Verhältniſſe vermindern, in welchem ihre Geſchwindigkeit kleiner wird. Dieſe nimmt aber in einem zweimal größeren Verhältniſſe ab, als ihr Durchmeſſer, und es muß daher die Geſchwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem ſie ſich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß iſt das Product ihrer Entfernung in das Quadrat des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens eine beſtändige Größe.

35. Wenn durch Beobachtungen des ſcheinbaren Durchmeſſers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunctes der Sonne Tag für Tag gegeben iſt; ſo kann man auch Tag für Tag die Lage und Länge des Radius Vectors verzeichnen und durch die Endpuncte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorſtellen wird. So überzeugt man ſich, daß dieſe Bahn eine Ellipſe iſt, in deren einem Brennpuncte ſich die Erde zu befinden ſcheint. Die Excentricität dieſer Ellipſe iſt ſehr gering, denn die große Axe derſelben beträgt 1. 03416, wenn man die kleine = 1 ſetzt. Den Punct der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum, denjenigen, deſſen Entfernung von der Erde am kleinſten iſt, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Puncte verbindet; oder die große Axe der Ellipſe heißt Abſidenlinie.

36. Die Erſcheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne laſſen ſich ſowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde von Weſt gegen Oſt als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne von Oſt gegen Weſt erklären. Der bloße Augenſchein kann hier ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müſſen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieſer Bewegungen ſprechen. Dieſe fallen aber alle zu Gunſten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden; ſo muß ſie durch Centralkräfte bewirkt werden, weil nur dadurch die bei

der krummlinigen Bewegung entſtandene Fliehkraft aufgehoben werden kann und weil die beſchriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt ſind. Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper ſey als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft beſitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher iſt es, der Sonne dieſe Kraft anzuweiſen und ſo den kleinern Körper um den größeren ſich bewegen zu laſſen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um dieſen Planeten, weil wir an jedem derſelben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein abgeſehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit ſich führen würde; ſo geriethe man in directen Widerſpruch mit den unumſtößlichen Geſetzen der Bewegung, während alles im beſten Einklange mit dieſen Geſetzen iſt, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

37. Aus der im Vorhergehenden bewieſenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Änderungen der Elemente ihrer Bahn laſſen ſich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt und die jedes Punctes derſelben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge dieſer Bewegungen beſchreibt jeder Punct der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Reſultirende der Wege iſt, die er durch jede einzelne Bewegung für ſich zurücklegen würde und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden iſt, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

38. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechſel von Tag und Nacht, ſo wie überhaupt der Auf- und Untergang der Geſtirne ab. Denkt man ſich einen Halbmeſſer der Erde durch einen Punct A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelsſphäre verlängert, ſo trifft

er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Puncte. Befindet ſich nun in dem Puncte der Himmelsſphäre, welchen er trifft, ein Fixſtern; ſo wird dieſer dem Erdbewohner, der ſeine eigene Bewegung von Weſt nach Oſt nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beſchreiben ſcheinen, der deſto größer iſt, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Iſt dieſer Winkel = 0 oder liegt A in einem Pole, ſo wird der Punct am Himmel zu ruhen ſcheinen und alſo ein Pol der Himmelsſphäre ſeyn, beträgt jener Winkel 90°, ſo wird ſeine Bahn am größten, ſie liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixſternes iſt demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt ſie einen Sterntag und theilt ſie in 24 gleiche Theile, Sternſtunden ab. Jeder Punct des Äquators beſchreibt in einem ſolchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Par. Fuß. In Puncten außer dem Äquator iſt dieſe Bewegung langſamer und zwar nach Verhältniß des Coſinus ihrer Breite.

39. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geſchwindigkeit und legen im Durchſchnitte in einem Tage einen Weg von 346. 836 Meilen, mithin in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Dieſe Bewegung iſt der täglichen der Richtung nach entgegengeſetzt und daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen ſcheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixſtern daſſelbe thut. Man nennt die Zeit eines ſcheinbaren täglichen Sonnenumlaufes Sonnentag und ſeinen 24ſten Theil eine Sonnenſtunde. Wegen der Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung der Erde iſt der Sonnentag nicht immer gleich lang. Weil dieſes den Geſchäften des bürgerlichen Lebens, die man ſtets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günſtig iſt; ſo nimmt man eine Sonne an, welche ihre jährliche ſcheinbare Bahn in derſelben Zeit zurücklegt, wie die wahre, allein mit ſtets gleicher Geſchwindigkeit und parallel mit dem Äquator. Man nennt ſie die mittlere Sonne, die Zeit ihres Umlaufes mittleren Sonnentag, ihren 24ſten Theil mittlere Sonnenſtunde u. ſ. f. Der Unterſchied zwiſchen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt Zeitgleichung. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Viermal des Jahres fällt die mittlere und wahre Zeit zuſammen, oder die Zeitgleichung iſt = 0. Dieſes geſchieht ungefähr den 11. Februar, 16. Mai,

26. Juli und 1. November. Die größte Zeitgleichung beläuft ſich ungefähr auf 30 M. Ein Sterntag hat 23 St. 56 M. 4.1 S. nach mittlerer Sonnenzeit. Unſere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Aſtronomen laſſen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit und kann daher mit einer mechaniſchen Uhr nicht immer harmoniren.

40. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des Jahres ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpunct zurückkehrt und zwar nennt man dieſes insbeſondere tropiſches Jahr zum Unterſchiede vom ſideriſchen. Es beträgt 365 T. 5 St. 48 M. und 50. 832 S. oder 365. 24255 T. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt **Schaltjahr**; der eingeſchaltete Tag iſt der 23. Februar. Dieſe Zeitrechnung wurde von **Julius Cäſar** 46 J. vor Chriſti Geburt eingeführt und heißt deßhalb **Julianiſche** Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365. 25 Tage gerechnet wird, begeht man jährlich einen Fehler von 0.00745 T., welcher in 400 Jahren ſchon 2.980 Tage beträgt. Dieſer Fehler machte im Jahre 1582 ſchon 10 Tage. Dadurch wurde der Papſt Gregor XIII. beſtimmt, im Jahre 1582 jene 10 Tage wegzulaſſen und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläſſiget werden. Deßhalb waren ſchon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl ſie der Regel nach Schaltjahre hätten ſeyn ſollen, auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr ſeyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch beſondere Anordnungen geſorgt wäre.

Da nebſt der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen beſteht, ſo bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7} = 52$ Wochen 1 T. und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7} = 52$ Wochen 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demſelben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächſten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die erſten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchſtaben *A, B, C, D, E, F, G* und die folgenden wieder nach derſelben Ordnung mit *A* angefangen; ſo muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres *A* ſeyn, wenn der erſte *A* iſt. Der Buchſtabe, welcher auf den erſten Sonntag des Jänners fällt, heißt **Sonntagsbuchſtabe**.

Dem Geſagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchſtabe in verkehrter Ordnung von *G* nach *A* jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geſchieht dieſes um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchſtaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, ſo würde derſelbe Sonntagsbuchſtabe alle 7 Jahre zurückkehren; iſt aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, ſo geſchieht dieſes erſt nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Dieſe Periode von 28 Jahren heißt Sonnenzirkel. Denſelben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wie vielte dieſer Periode ein gegebenes Jahr ſey. (Littrow's Kalendariographie. Wien 1828.)

41. Von beſonders großem Einfluſſe iſt die Neigung der Erdbahn gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verſchiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenſtrahlen ab, welche mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung ſtehen, ſo wie die Dauer ihrer Einwirkung. Stünde die Erdaxe ſenkrecht auf der Ecliptik, ſo würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in demſelben Orte das ganze Jahr hindurch unter demſelben Winkel einfallen und daher bei übrigens gleichen Umſtänden auch täglich nahe dieſelbe Erwärmung hervorbringen; allein bei der Einrichtung der Dinge, wo die Erdaxe unter 66° 32′ gegen jährliche Bahn geneigt iſt, ändert ſich dieſer Winkel täglich. Es ſey z. B. *S* die Sonne (Fig. 334), *E* ein Durchſchnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, *E′* derſelbe in derjenigen Lage, welche ſie nach einem halben Jahre einnimmt, *Pp* die Erdaxe, *Aa* der Erdäquator, *M* der Punct der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, *o* und *o′* ein anderer, auf den die Mittagsſtrahlen ſchief auffallen, *oz* und *o′z′* ſeine Scheitellinie. Man ſieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage *E* gleich *Soz*, in der Lage *E′* aber *So′z′* iſt, wo offenbar erſterer Winkel kleiner als letzterer iſt. Im aſtronomiſchen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit, während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächſt, Frühling, diejenige, während welcher ſie abnimmt, Sommer, diejenige, während welcher die ſüdliche Abweichung wächſt, Herbſt, und endlich jene, während welcher dieſe abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer iſt, herrſcht in der ſüdlichen Winter, während des Herbſtes der nördlichen Hemiſphäre hat die ſüdliche Frühling und umgekehrt. Dieſe Jahreszeiten ſind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig iſt. Jetzt dauert bei

uns der Frühling 92 T. 21 St. 16 M., der Sommer 93 T. 13 St. 52 M., der Herbſt 89 T. 17 St. 8 M. und der Winter 89 T. 1 St. 31 M. — In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, daß die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu ſagen pflegt, daß es nicht gleich lang Tag iſt. Iſt z. B. *C* (Fig. 335) ein Punct der Erde, der die Polhöhe *PCH* hat, mithin *Hh* ſein Horizont, *Pp* die Weltaxe, *Aa* der Äquator, *Bb*, *Dd*, *Gg*, *Kk* Parallelkreiſe, welche in *q*, *r*, *s*, *t* vom Horizonte geſchnitten werden; ſo ſtellen *AC*, *Bq*, *Dr*, *Gs*, *Kt* die Theile der Parallelkreiſe vor, welche über dem Horizonte liegen, hingegen *Ca*, *qb*, *rd*, *sg*, *tk* diejenigen, welche ſich unter demſelben befinden. Betrachtet man nun die ſcheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig; ſo geben die zwei Stücke des Parallelkreiſes der Sonne, das Verhältniß zwiſchen der Dauer von Tag und Nacht für dieſe Zeit an. Hieraus ſieht man, daß Tag und Nacht gleich ſind, wenn ſich die Sonne im Äquator befindet, daß der Tag länger iſt als die Nacht, wenn die Sonne gegen *P* abweicht, und zwar deſto mehr, je größer dieſe Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß Statt findet, wenn ſie gegen *p* abweicht. Wenn *PCH* größer wird, ſo ſchneidet auch *Hh* die Parallelkreiſe in noch ungleichere Stücke; daher muß in derſelben Zeit die Differenz zwiſchen Tag und Nacht deſto größer ſeyn, je größer die Polhöhe eines Ortes iſt. Deßhalb iſt in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = 0 iſt, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieſer Urſache dauert der längſte Tag in Örtern von großer Polhöhe mehrere Wochen, ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längſten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.	Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.
8 Grad 34 M.	12 St. 30 M.	52 Grad 0 M.	16 St. 30 M.
16 = 44 =	13 = — =	54 = 31 =	17 = — =
24 = 12 =	13 = 30 =	56 = 38 =	17 = 30 =
30 = 48 =	14 = — =	58 = 27 =	18 = — =
36 = 31 =	14 = 30 =	60 = 0 =	18 = 30 =
41 = 24 =	15 = — =	61 = 19 =	19 = — =
45 = 32 =	15 = 30 =	62 = 26 =	19 = 30 =
49 = 2 =	16 = — =	63 = 23 =	20 = — =

Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.	Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.
64 Grad 11 M.	20 St. 30 M.	66 Grad 32 M.	24 St. — M.
64 = 50 =	21 = — =	67 = 23 =	1 Monat.
65 = 22 =	21 = 30 =	69 = 50 =	2 =
65 = 48 =	22 = — =	73 = 39 =	3 =
66 = 8 =	22 = 30 =	78 = 31 =	4 =
66 = 21 =	23 = — =	84 = 5 =	5 =
66 = 29 =	23 = 30 =	90 = 0 =	6 =

42. Die Elemente der Erdbahn ſind nicht unveränderlich, ſondern alle bis auf die große Axe der Ellipſe unterliegen kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß ſich die Lage der Fixſterne gegen den Äquator alle Jahre ändere, während ſie gegen die Ecliptik unverändert bleibt. Dieſe Veränderung rührt davon her, daß die Äquinoctialpuncte auf der Ecliptik jährlich um eine gewiſſe Größe von Oſt nach Weſt fortrücken ſo, daß ſie in 72 Jahren um einen Grad weiter kommen oder in nahe 26000 Jahren (platoniſches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es iſt daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, ſie geht in 26000 Jahren einmal um die Pole der Ecliptik herum. Man nennt dieſe Bewegung das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präceſſion. Aus derſelben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demſelben Fixſterne zurückzukehren, oder daß die tropiſche Umlaufszeit kürzer ſey als die ſideriſche oder wahre. Letztere beträgt 365.25638 Tage.

43. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen ſchon im Reinen war, bemerkte Bradley doch noch kleine periodiſche Ungleichheiten in der Neigung der Ecliptik gegen den Äquator und in der Präceſſion, die man erklärt, wenn man annimmt, daß ſich die Erdpole nicht in einem Kreiſe bewegen, wie dieſes das Vorrücken der Nachtgleichen allein für ſich fordert, ſondern daß dieſes in einer kleinen Ellipſe geſchehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipſe aber ſelbſt ihren Mittelpunct im Umfange des Kreiſes hat, der vermöge der Präceſſion beſchrieben wird. Dieſe Bewegung begreift man unter dem Namen der Nutation (Wanken der Axe).

44. Die Schiefe der Ecliptik erleidet zwar ſchon durch die Nutation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein ſelbſt abgeſehen von dieſer Veränderung un=

terliegt dieſer Winkel einem periodiſchen Wachſen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieſer Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tauſend Jahre.

45. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen nicht immer in dieſelbe Stelle der Erdbahn, ſondern ſie rücken jährlich um eine kleine Größe in der Ecliptik vor, ſo daß die Erde etwas mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnennähe, als um wieder zu einem Fixſterne zurückzukehren. Erſtere Umlaufszeit heißt anomaliſtiſches Jahr und beträgt 365.259713 Tage. Dieſe Veränderung iſt unter dem Namen: Bewegung der Abſidenlinie, bekannt und beträgt jährlich 11″.8.

46. Vermöge der Präceſſion und Nutation ändert ſich nur die Lage der Sterne gegen den Äquator und die Ecliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixſternen auch noch eine kleine, periodiſche Änderung ihrer Lage gegen einander. Um ſich dieſe Bewegung vorzuſtellen, laſſe man jeden Fixſtern jährlich einen kleinen, mit der Ecliptik parallelen Kreis, deſſen Centrum der mittlere Ort des Sternes iſt und deſſen Durchmeſſer von der Erde aus geſehen, ungefähr 20″ beträgt, eben ſo beſchreiben, wie die Sonne ſich in der Ecliptik bewegt, jedoch ſo, daß dieſe immer um 90° voraus iſt. Dieſer Kreis erſcheint am Himmelsgewölbe als Ellipſe von größerer oder kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ecliptik entfernt iſt. In der Ecliptik ſelbſt geht dieſe Ellipſe in eine gerade Linie über. Dieſes Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, ſondern in einer Bewegung außer den Geſtirnen ſeinen Grund habe, läßt ſich ſchon aus der allen Sternen gemeinſchaftlichen Größe des Kreiſes vermuthen, der nur durch ſeine Projection auf die Himmelsſphäre eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe erzeugt. Da überdieß alle dieſe Kreiſe mit der Ecliptik parallel liegen und der Ort des Sterns in dieſem Kreiſe in ſo genauer Verbindung mit dem der Sonne ſteht; ſo bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieſer Erſcheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß ſich alles bis auf die kleinſten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erſcheinungen bewieſene, ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zuſammenſetzt. Wie dieſes geſchieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es ſey S (Fig. 336) ein Stern,

ter dem Beobachter *A* einen Strahl *SA* zuſendet, der in einer Zeiteinheit den Weg *BA* zurücklegt. Bewegt ſich der Beobachter in derſelben Zeit von *A* nach *C*, ſo zerlege man *BA* in die mit *AC* parallele *BD* = *CA* und in *BC*; erſtere wird durch die Gegenbewegung des Beobachters aufgehoben und dieſer ſieht demnach den Stern in der Richtung *CB* in *s*. Hat der Beobachter eine entgegengeſetzte Bewegung *FG*, ſo zerlege man die Geſchwindigkeit des Lichtes *FE* in die mit *CE* parallele *EC* = *CG* und in *FC*, es wird erſtere aufgehoben und der Beobachter ſieht den Stern nach *CF* in *s'*. Es iſt klar, daß man aus dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeiten *BA* und *BD* = *AC* den Winkel *ABC* berechnen könne. Dieſes findet nun leicht Anwendung auf die Erde. Dieſe bewegt ſich in ihrer Bahn in einer beſtimmten, nach einem halben Jahre aber in gerade entgegengeſetzter Richtung und erlangt erſt nach einem Jahre wieder dieſelbe Richtung, daher muß ein Stern in einem Jahre eine Ellipſe beſchreiben, welche der Erdbahn ähnlich iſt und deren große Halbaxe unter dem Winkel *sBS* erſcheint; man findet ihn $= 20''.4$ und eben ſo groß gibt ihn die Rechnung aus dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeit des Lichtes und der Erde an.

Sechſtes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

47. Die Bewegungen der Planeten erſcheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die ſcheinbare Bewegung der Sonne; ſie gehen aber faſt alle in einem Gürtel vor ſich, welcher Thierkreis *(Zodiacus)* heißt, mit der Ecliptik parallel iſt und von ihr in zwei gleiche Theile getheilt wird. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne und heißen untere Planeten, die anderen entfernen ſich bis 180° und werden obere Planeten genannt. Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper ſo gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu ſtehen kommt, daß ihr Längenunterſchied 180° beträgt, ſo ſagt man, er ſey in Oppoſition, ſind ihre Längen gleich, ſo iſt er in Conjunction, beträgt der Längenunterſchied 90°, in Quadratur.

48. Die eigene, von der täglichen unabhängige Bewegung der

Planeten bietet merkwürdige Veränderungen dar. Man bemerkt, daß zu einer Zeit ihre Bewegung langſamer wird, hierauf völlig aufhört, ſo daß die Planeten wie Fixſterne ihren Platz eine geraume Zeit hindurch unverändert einzunehmen ſcheinen. Nach einiger Zeit nehmen ſie eine der erſten entgegengeſetzte Richtung an, mit der ſie bis zu einem gewiſſen Grade der Geſchwindigkeit fortfahren; iſt dieſer erreicht, ſo nimmt ihre Geſchwindigkeit wieder ab, wird gleich Null und es beginnt wieder die Bewegung nach der erſteren Richtung. Man ſagt, ein Planet ſey ſtationär, wenn er keine eigene Bewegung zu haben ſcheint, er ſey rechtläufig, wenn er ſich von Weſt nach Oſt bewegt, rückläufig, wenn er eine entgegengeſetzte Richtung hat. Unter allen dieſen Bewegungen iſt die rechtläufige doch die größte, ſo daß man im Allgemeinen ſagen kann, alle Planeten bewegen ſich von Weſt nach Oſt. Die Planetenbahnen erſcheinen demnach, von der Erde aus geſehen, ſo verwirrt, daß es ſchwer hält, ſich Kräfte zu denken, durch welche ſie hervorgebracht werden ſollen. Dieſes muß um ſo auffallender ſeyn, da ſelbſt die ſcheinbare Bewegung der Sonne ſo regelmäßig iſt und ſich die Natur gleichſam untreu geworden zu ſeyn ſcheint, indem hier ihre ſonſtige Einfachheit und Einheit vermißt wird. Es könnte wohl der Fall ſeyn, daß dieſe Verwirrung nur ſcheinbar wäre und daß wir uns nur nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieſer Erſcheinungen nur zwei Wege übrig: entweder ſind die Planetenbewegungen wirklich ſo verwickelt, wie ſie erſcheinen, und wir befinden uns im Mittelpuncte ihrer Bahnen, oder ſie erſcheinen uns nur ſo verwirrt, weil wir uns nicht in dieſem Mittelpuncte befinden.

49. Die alten Aſtronomen, an deren Spitze Ptolomäus ſteht, ſahen die Erde als Mittelpunct der Planetenbahnen an und erklärten ſich ihre verwickelte Bewegung dadurch, daß ſie annahmen, jeder Planet bewege ſich in einem Kreiſe *abcd* (Fig. 337), der Epicykel heißt, deſſen Mittelpunct ſich in einem andern Kreiſe *BAC* um die Erde *T* bewegt, den man excentriſchen Kreis nannte, weil *T* außer ſeinem Mittelpuncte liegt. Nach dieſer Hypotheſe hat der Planet die ſchnellſte directe Bewegung, wenn er ſich in ſeiner größten Entfernung *b* von der Erde befindet, weil da ſeine Bewegung im Epicykel und die des Epicy-

kels im Kreiſe *ABC* nach derſelben Richtung geſchieht. Bewegt er ſich aber im Bogen *cda*, ſo ſcheint er eine der vorigen entgegengeſetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich ſeine wahre Bewegung ſtets rechtgängig iſt. Wiewohl dieſe Hypotheſe die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreiſen zurückführt und im Allgemeinen die Erſcheinungen zu erklären ſcheint; ſo fehlt doch bei dieſer Anſicht die ſonſt ſo erhebende Einheit der Natur, weil ſich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt, hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentriſchen Kreiſe angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit ſich bringt.

50. Da nun die Erde nicht der Mittelpunct der Bewegung der Planeten ſeyn kann, ſo handelt es ſich darum, einen Punct zu finden, von dem die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſo einfach zu erſcheinen, als es dem Character der bereits bekannten, immer ſehr einfachen Geſetze der Natur gemäß iſt. Ein ſolcher Ort iſt die Sonne. Um dieſes einzuſehen, muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpuncte der Erde geſehen, erſcheint und der geocentriſche Ort heißt, den zu beſtimmen, wo er vom Mittelpuncte der Sonne aus erſcheinen würde, welchen die Aſtronomen den heliocentriſchen Ort nennen. Die einfachſte Methode bieten uns für obere Planeten ihre Oppoſitionen und Conjunctionen dar, weil da ihr geocentriſcher Ort mit dem heliocentriſchen zuſammenfällt. Zwei auf einander folgende Oppoſitionen eines Planeten geben zwei heliocentriſche Örter desſelben und mithin ſeine Bewegung zwiſchen beiden Oppoſitionen von der Sonne aus geſehen. So überzeugt man ſich, daß die Bewegung dieſer Planeten von der Sonne aus geſehen, ſo wie die der Erde um die Sonne, regelmäßig vor ſich gehe, daß z. B. Jupiter von einer Oppoſition zur anderen einen Bogen von 13° — 14° und Saturn einen Bogen von 35° — 37° um die Sonne zurücklege und daß dieſe Bewegung ſtets nach derſelben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es ſich ſchon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einſchließen, weil ſie nie in Oppoſition kommen; aber noch deutlicher wird dieſes durch Beobachtung ihrer Lichtgeſtalten. Kehrt uns ein ſolcher Planet die ganze beleuchtete Scheibe zu, ſo muß ſich nothwendig die Sonne zwiſchen ihm und der Erde befinden, wie dieſes beim Monde im vollen Lichte

der Fall iſt; ſteht er aber ſo, daß wir nichts von der beleuchteten Seite bemerken, wie beim neuen Monde, ſo muß er ſich zwiſchen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die obere, dieſe die untere Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieſer wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in ſeine Bahn aufzunehmen.

Für Jupiter und Saturn läßt ſich der Satz, daß ſie ſich um die Sonne bewegen, ſogar aus Ptolomäus Beſtimmungen beweiſen. Die Verfinſterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, ſeine Entfernung von der Erde gegen die der Sonne von der Erde zu beſtimmen. Es ſey z. B. S (Fig. 338) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A der Jupiter, der einen coniſchen Schatten wirft. Iſt die Dauer der Finſterniß eines ſeiner Trabanten genau beſtimmt, ſo befindet ſich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieſer Dauer in Oppoſition mit Jupiter, und ſein Ort, vom Mittelpuncte Jupiters aus geſehen, fällt mit dem zuſammen, wo Jupiter vom Mittelpuncte der Sonne aus erſcheint. Da man erſteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und des Trabanten berechnen kann, ſo iſt dadurch für dieſen Augenblick auch der heliocentriſche Ort Jupiters gegeben. Da auch deſſen geocentriſcher Ort und der Ort der Sonne für dieſen Augenblick bekannt iſt, ſo hat man im Dreiecke SAT die Winkel SAT, STA, mithin auch TSA, und aus anderen Angaben die Größe der Seite TS, mithin auch SA und TA. Es ſind alſo aus jeder Verfinſterung eines Jupiterstrabanten die Elemente des Dreiecks AST und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele ſo gefundenen Örter Jupiters mit einander, ſo zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieſes Planeten, aus der man abnimmt, daß er ſich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weiſe beſtimmt man aus dem Verſchwinden und Wiedererſcheinen des Saturnringes ſeine Entfernung von der Erde, die $9\frac{1}{2}$mal größer iſt, als die der Sonne von der Erde. Dieſes Verhältniß gibt aber Ptolomäus ſelbſt für das des Halbmeſſers der Saturnbahn zum Halbmeſſer ſeines Epicykels an, und daher iſt dieſer Epicykel die Erdbahn.

51. In welcher Ordnung ſich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digreſſionen von der Sonne, daß ſie ihr näher ſtehen als die Erde, während die übrigen Planeten von ihr

weiter entfernt ſind und bei ihrer Conjunction nicht wie jene vor, ſondern hinter der Sonnenſcheibe vorbeigehen. Von beiden ſteht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digreſſion hat und Venus manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geſchah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus; denn die Änderung des ſcheinbaren Durchmeſſers von der Conjunction zur Oppoſition iſt bei Mars größer als bei Jupiter, bei dieſem größer als bei Saturn, bei dieſem bedeutender als bei Uranus; daher muß auch die Entfernung der Sonne von der Erde gegen ihre Entfernung vom Mars größer ſeyn, als gegen die vom Jupiter u. ſ. f. oder was daſſelbe iſt, es muß obige Ordnung Statt finden. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Veſta haben ihre Bahnen zwiſchen denen des Mars und Jupiters. Der Erde iſt ihr Platz zwiſchen Venus und Mars angewieſen.

52. Durch dieſe Unterſuchungen iſt nur die Folge der Planeten und daß ihre Bahnen die Sonne in ſich ſchließen, dargethan, wie aber dieſe Bahnen beſchaffen ſind und nach welchem Geſetze ſich in ihnen die Planeten bewegen, iſt dadurch nicht ausgemacht. Die Beſtimmung dieſer Puncte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es ſich zur Aufgabe ſeines Lebens gemacht hat, die Geſetze der Planetenbewegungen aufzudecken. Ptolomäus ging von dem Grundſatze aus, daß ſich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geſchwindigkeit um die Erde bewegen und daß letztere ſich außerhalb des Mittelpunctes dieſes Kreiſes befinde, ſo daß die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus geſehen, ſcheinbaren Ungleichheiten unterliegen müſſe, welche deſto größer ſind, je bedeutender die Excentricität ſeines Kreiſes iſt. Copernicus wich nur darin vom vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes bei. Kepler hingegen unterwarf alle Puncte der Planetenbewegungen einer ſtrengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes und der gleichförmigen Bewegung und fand: 1) Daß ſich alle Planeten in Ellipſen um die Sonne bewegen und daß ſich letztere im gemeinſchaftlichen Brennpuncte aller dieſer Ellipſen befinde. 2) Daß die in gewiſſen Zeiten beſchriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt ſeyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältniſſe

ſtehen. Durch dieſe Geſetze iſt alles beſtimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat, man kann bei einem Planeten aus ſeiner Umlaufszeit auf ſeine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus der Entfernung auf ſeine Umlaufszeit ſchließen. Dieſes iſt beſonders wichtig für die Beſtimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man ſchon aus zwei Oppoſitionen den Bogen, den er in der Zwiſchenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ ſich hierauf mittelſt des dritten Kepler'ſchen Geſetzes ſeine Entfernung von der Erde berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derſelben Ebene, ſie ſchneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächſtfolgende (für Juno) aber ſchon nur 13° beträgt. Die Durchſchnittspuncte einer Planetenbahn mit der Ecliptik heißen Knoten und zwar einer der aufſteigende, der andere der abſteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen ſind verſchieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinſte jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten ſind ungleich und werden, dem dritten Kepler'ſchen Geſetze gemäß, deſto größer, je weiter der Planet von der Sonne abſteht.

53. Die Ordnung der Planeten, wie ſie erwieſen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicaniſchen Syſtems, und unterſcheidet es von dem Ptolomäiſchen, nach welchem ſich alle Planeten, ſo wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychoniſchen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber dieſe ſammt ihrem Gefolge um die Erde, ſo daß die Halbmeſſer der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer ſind, als der Halbmeſſer der Sonnenbahn. Folgende Tafeln geben die vorzüglichſten Zahlenwerthe an, durch welche die Planetenbahnen und ihre jährlichen Bewegungen bezeichnet werden.

1. Entfernung der Planeten von der Sonne in deutſchen Meilen und Excentricität ihrer Bahn.

Planeten	kleinſte	größte	mittlere	Verhältniß der Axen der Ellipſe
Merkur . .	7412613	9751675	8082144	2 : 3
Venus . . .	14998639	15205897	15102268	75 : 76
Erde . . .	20528093	21229397	20878745	29 : 30
Mars . . .	28847290	34778294	31812792	4 : 5
Veſta . . .	44932670	53705430	49319050	5 : 6
Juno . . .	41572237	69635763	55754000	4 : 7
Ceres . . .	53235198	62318002	57776600	6 : 7
Pallas . . .	43652217	71943443	57797830	11 : 18
Jupiter . .	103361858	113825604	108593731	10 : 11
Saturn . .	187952378	210322822	199137600	19 : 21
Uranus . .	381828330	419212930	400520630	10 : 11

2. Sideriſche Umlaufszeit und Geſchwindigkeit in 1 Secunde.

Planeten	Umlaufszeit	Geſchwindigkeit in 1 Sec.
Merkur	87.7969258 Tg.	6.53 Meilen
Venus	224.700787 „	4.85 „
Erde	365.256383 „	4.12 „
Mars	686.979619 „	3.29 „
Veſta	1327.598293 „	2.73 „
Juno	1593.841740 „	2.56 „
Ceres	1681.400904 „	2.52 „
Pallas	1682.545086 „	2.52 „
Jupiter	4332.606308 „	1.78 „
Saturn	10758.969840 „	1.32 „
Uranus	30688.713687 „	0.93 „

3. Lage der elliptiſchen Bahnen.

Planeten	Neigung zur Ecliptik			Lage des Apheliums			Länge des aufſteigenden Knotens		
Merkur	7°	0′	0″	254°	30′	14″	46°	4′	11″
Venus	3	23	28	308	44	18	74	57	18
Erde	0	0	0	279	39	22	0	0	0
Mars	1	51	5	152	33	49	48	3	48
Veſta	7	7	52	270	19	0	103	10	12
Juno	13	4	27	33	16	0	171	9	50
Ceres	34	37	28	326	44	12	80	56	55
Pallas	10	37	30	301	22	17	172	33	54
Jupiter	1	18	51	191	17	48	98	30	4
Saturn	2	29	38	269	15	11	112	1	55
Uranus	0	46	26	347	29	37	72	53	35

Es folgen demnach die Planeten nach Verhältniß der Excentricität ihrer Bahn ſo auf einander, von dem angefangen, deſſen Bahn am excentriſchſten iſt: Juno, Ceres, Pallas, Merkur, Mars, Veſta, Saturn, Jupiter und Uranus, Erde, Venus. Die Neigung der Bahn gegen die Ecliptik wächſt in folgender Ordnung: Ceres, Juno, Pallas, Veſta, Merkur, Venus, Saturn, Mars, Jupiter, Uranus. Die aufſteigenden Knoten der Bahnen liegen in folgender Ordnung in der Ecliptik: Merkur, Mars, Uranus, Venus, Ceres, Jupiter, Veſta, Saturn, Juno, Pallas. Nach der Lage des Apheliums ſtehen die Planeten in folgender Ordnung: Juno, Mars, Jupiter, Merkur, Saturn, Veſta, Erde, Pallas, Venus, Ceres, Uranus.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe.

54. Unter den Nebenplaneten iſt der **Mond** für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigſte; darum ſoll er auch zuerſt betrachtet werden. Von der Bewegung des Mondes überzeugt man ſich durch dasſelbe Mittel, wodurch man die ſcheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung ſeines ſcheinbaren Ortes mit dem eines Fixſternes. Auch dieſe erfolgt von Weſt gegen Oſt, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht und gegen die Ecliptik geneigt iſt. Die Bahn ſelbſt iſt elliptiſch und in einem Brennpuncte dieſer Ellipſe befindet ſich die Erde ſo, daß ſich der Mond eben ſo um die Erde bewegt, wie die Erde um die Sonne. Es laſſen ſich auf ihn alle Kepler'ſchen Geſetze anwenden und die Elemente ſeiner Bahn ſind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten. So rücken die Knoten der Mondesbahn täglich um 3′ 10″. 8 von Oſt nach Weſt fort, und machen daher in 19 Jahren einen Umlauf; der Punct ſeiner Erdnähe bewegt ſich hingegen täglich um 6′ 40″. 9 von Weſt nach Oſt und kommt daher in ungefähr 9 Jahren einmal herum; die Neigung ſeiner Bahn gegen die Ecliptik ändert ſich von 5° 17″ bis 5° 0′ 13″.

Auch die Bewegung des Mondes weicht von der rein elliptiſchen Bewegung oft ſtark ab und iſt überhaupt ſehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß ſind und leicht bemerkt werden können, während ſich andere nur erſt bei ungemein ſcharfen und ſehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

55. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixſternes mit dem Monde bis zur nächſtfolgenden heißt ſideriſche Umlaufszeit, ſideriſcher Mondenmonat. Von dieſer iſt die periodiſche Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond ſeine Länge um 360° ändert, um ſo viel verſchieden, als er braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Äquinoctialpuncte in einem Monate zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne bis zur nächſtfolgenden heißt ſynodiſche Umlaufszeit. Sie iſt wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die ſideriſche. Wegen der Änderung der Abſidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe (der anomaliſtiſche Monat) und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt (der Drachenmonat) von der ſideriſchen Umlaufszeit verſchieden ſeyn.

56. Unter allen dieſen iſt der ſynodiſche Monat, deſſen Dauer 29.53059 (29 T. 12 St...) Tage beträgt, für das gemeine Leben am merkwürdigſten, weil er mit den Lichtgeſtalten (Phaſes) des Mondes in Verbindung ſteht. Der Mond zeigt uns nämlich die ganze Scheibe beleuchtet, oder es iſt Vollmond, wenn er mit der Sonne in Oppoſition iſt. So wie er ſich von da entfernt, nimmt der beleuchtete Theil ab, es iſt abnehmender Mond, und beträgt zur Zeit der Quadratur nur noch die Hälfte der ganzen Scheibe. Über die Quadratur hinaus wird der beleuchtete Theil noch kleiner, bis zur Zeit der Conjunction die ganze Scheibe dunkel und daher Neumond iſt. Von da nimmt die Größe des beleuchteten Theiles wieder zu, wie ſie vorhin abgenommen hat. Dieſes alles zuſammengenommen zeigt deutlich, daß die Lichtabwechslungen davon herkommen, daß der Mond uns manchmal die ganze von der Sonne beleuchtete Scheibe, manchmal nur einen Theil derſelben, manchmal die unbeleuchtete Seite zukehre, wie man aus Fig. 339 abnehmen kann, wo *T* die Erde, *S* die Sonne, *L* den Mond bedeutet und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geſchieden iſt.

57. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen ſich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weiſe und nach denſelben Geſetzen, wie ſich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus geſehen erſcheinen dieſe Bewegungen ſehr einfach. Befindet ſich der Trabant in einem ſeiner Knoten, ſo ſcheint er um den Planeten zu oscilliren, er entfernt ſich von ihm, nähert ſich ihm wieder, entfernt ſich nach der entgegengeſetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er ſich aber außer dem Knoten, ſo erſcheint uns ſeine Bahn als eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich iſt die des Ringes, welcher den Saturn umgibt. Alle wichtigeren Puncte der Trabantenbewegung erſieht man am beſten aus folgender Tafel.

Trabanten	Entfernung vom Hauptplaneten	Umlaufszeit	Neigung der Bahn
Mond . . .	51844 Meil.	27 T. 7 St. 43 M. 11.6 S.	5° 9′ 45″
Jupiterstrabant			
erſter	58059 „	1 18 27 33	3 5 30
zweiter	92376 „	3 13 13 42	3 4 25
dritter	147347 „	7 3 42 33	3 0 30
vierter	259157 „	16 16 31 50	241 0′ 26
Saturntrabant			
erſter	25081 „	0 22 37 30	30°
zweiter	32039 „	1 8 53 9	
dritter	39853 „	1 21 18 26	
vierter	51053 „	2 17 44 51	
fünfter	71307 „	4 12 25 11	
ſechſter	165302 „	15 22 41 14	
ſiebenter	481809 „	79 7 54 37.4	22° 42′
Ring	13865 „	4 — 5 St.	30°
	19747 „		
Uranustrabant			
erſter	49123 „	5 21 25 20.6	nahe 90°
zweiter	64423 „	8 16 57 47.5	
dritter	74302 „	10 23 3 59	
vierter	85186 „	13 10 56 29.8	
fünfter	170383 „	38 1 48 0	
ſechſter	340743 „	107 16 39 56	

58. Bei der Oppoſition oder Conjunction des Mondes ereignen ſich manchmal jene merkwürdigen Erſcheinungen, die man *Sonnen- und Mondesfinſterniſſe* nennt. Eine *Mondesfinſterniß* iſt die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdſchat-

ten; ſie ereignet ſich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß ſich die beleuchtete Mondesſcheibe am öſtlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt dieſe Verdunklung immer weiter, verbreitet ſich bei ſogenannten totalen Finſterniſſen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück desſelben, das man nach ecliptiſchen Zollen angibt, wovon jeder $\frac{1}{12}$ des ſcheinbaren Mondesdurchmeſſers beträgt. Fig. 340 ſtellt die Erde *E* mit ihrem Schatten und ein Stück *ab* der Mondbahn vor. Läge die Mondesbahn ganz in der Ecliptik, ſo müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß Statt finden; allein wegen der Neigung der Mondesbahn gegen die Ecliptik ereignet ſich eine ſolche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo ſich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und ſeine Breite geringer iſt, als die Summe aus dem Halbmeſſer des Mondes und dem des Erdſchattens da, wo der Mond ihn ſchneidet. Wäre z. B. (Fig. 341) *AE* ein Stück der Mondesbahn, *AL* ein Stück der Ecliptik, *a* der Mittelpunct des Mondes im Augenblicke der Oppoſition, *b* der eines Durchſchnittes des Erdſchattens in der Entfernung des Mondes von der Erde, und die zu *a* und *b* gehörigen Kreiſe die Mondesſcheibe und der Durchſchnitt des Erdſchattens; ſo iſt leicht zu erſehen, daß nur dann ein Durchſchneiden beider Kreiſe Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes *ab* kleiner iſt, als die Summe der Halbmeſſer beider Kreiſe. — Sonnenfinſterniſſe entſtehen dadurch, daß der Mond zwiſchen die Sonne und die Erde zu ſtehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt. Dieſelbe Urſache, aus welcher ſich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinſterniß entſteht, ſondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei ſeiner Conjunction kleiner iſt, als die Summe des ſcheinbaren Sonnen- und Mondeshalbmeſſers. In Fig. 342 iſt *E* die Erde, *S* die Sonne, *M* der Mond mit ſeinem Schatten. — Sonnenfinſterniſſe ſind wie die Mondesfinſterniſſe, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunct des Mondes geht, ſo iſt für dieſen Ort die Verfinſterung nur partial. Selbſt wenn erſteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinſtert erſcheinen, ſondern wenn der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes kleiner iſt, als jener der Sonne, ſo bleibt ein

leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finſterniß iſt ringförmig. Übrigens ſieht man leicht ein, daß auch die verſchiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpuncte der Erde eben ſo wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinſterung haben müſſe, weil dadurch der ſcheinbare Durchmeſſer vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinſterniſſe in verſchiedenen Orten der Erde verſchieden iſt, während doch Mondesfinſterniſſe allenthalben gleich groß erſcheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinſterniſſe fragen kann, läßt ſich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ecliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdſchattens gegeben ſind. Auf dieſe Weiſe findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finſterniſſe erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinſterniſſe ſind, daß jedes Jahr im Durchſchnitte vier Finſterniſſe hat und daß die Finſterniſſe ungefähr nach 19 Jahren wieder in derſelben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometriſchen Berechnung der an einem gegebenen Orte ſichtbaren Sonnenfinſterniſſe von J. W. Müller. Sulzbach 1815. Littrow's Darſtellung der Sonnenfinſterniſſe. Wien 1820.) — Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben ſich beſondere Epochen, welche zur Beſtimmung hiſtoriſcher Ereigniſſe dienlich ſind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphaſen, z. B. der Neumond wieder auf denſelben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe faſt genau in 19 Jahren geſchehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wie vielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel ſey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht aſtronomiſchen Periode von 15 Jahren, welche Inductionszirkel oder Römerzinszahl heißt, multiplicirt, geben 7980 als die julianiſche Periode, nach welcher Sonntagsbuchſtabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denſelben Jahrstag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von Vega. Wien u. Leipzig 1801.

59. Da die Planeten einen Schatten werfen wie unſere Erde, ſo werden ihre Trabanten auch manchmal in denſelben eintreten und verfinſtert werden. Solche Finſterniſſe ſind beſonders bei den Jupiterstrabanten häufig und werden zum Behufe der irdiſchen Längenbeſtimmungen von den Aſtronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

60. Die Kometen erſcheinen meiſt unerwartet und mit einem auffallenden Äußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit ſichtbar, nähern ſich dabei mit ſtark zunehmender Geſchwindigkeit der Sonne immer mehr, ſo daß ſie ſich manchmal ganz in den Sonnenſtrahlen verbergen; hierauf entfernen ſie ſich wieder von ihr, ihre Geſchwindigkeit nimmt ab, bis ſie mit freiem Auge und zuletzt auch mit Fernröhren unſichtbar werden. Sie beſtehen meiſtens aus einer trüben, veränderlichen Dunſtmaſſe; wenige haben in dieſer einen feſten Kern, der ſelbſt bei den meiſten vielleicht noch weniger dicht iſt als unſere Atmoſphäre, weil man nahe an ihm ſelbſt ſehr kleine Sterne mit ungeſchwächtem Lichte ſieht. Bei manchem Kometen hat die Dunſtmaſſe eine runde Geſtalt, bei den meiſten aber dehnt ſie ſich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunſthülle weſentlich verſchieden ſeyn ſoll; er iſt bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom J. 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büſchel getheilt, aber meiſtens von der Sonne abgewendet. Dieſen Schweif bekommen die Kometen wahrſcheinlich erſt, wenn ſie ſich der Sonne ſtark nähern, ja man hat ſogar Kometen bemerkt, die das erſte Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererſcheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht iſt bald gelblich (K. vom J. 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

61. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde iſt, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren iſt nicht, wie bei den Planeten, immer die von Weſt nach Oſt, auch ſelten innerhalb des Thierkreiſes gelegen; ja bei einigen faſt auf der Erdbahn ſenkrecht (K. von 1707). Man weiß nun mit Beſtimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieſelben Geſetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß ſie ſich wie dieſe um die Sonne bewegen und ſogar auch in einer Kegelſchnittslinie. Allein die Beſchaffenheit dieſer Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Planeten eigenen ab, daß ſie, wenn ſie eine Ellipſe iſt, eine weit größere Excentricität hat, als die der

Planetenbahnen, daß ſie aber auch eine Hyperbel ſeyn kann. Von einigen Kometen iſt es erwieſen, daß ſie in Ellipſen um die Sonne gehen, man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererſcheinen voraussagen. So war dieſes mit dem Kometen der Fall, der zuerſt im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde und mit einer kleinen Verſpätung wirklich erſchien. Er iſt ſeit dieſer Zeit ſchon mehrmal beobachtet worden. Man ſah ihn das letztemal im Jahre 1759. In der neueſten Zeit berechnete Encke einen von Plons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und im Jahre 1822 in Süden am berechneten Orte geſehen wurde. Im Jahre 1828 hat man ihn wieder recht gut ſehen können.

62. Über die Natur der Kometen läßt ſich wenig mit Gewißheit ſagen. In älteren Zeiten hielt man ſie für bloße Lichterſcheinungen und für Vorbothen großer Unglücksfälle, heute zu Tage iſt unſere Kenntniß derſelben ſo weit gediehen, daß man mit Beſtimmtheit weiß, ſie ſeyen gleich den Planeten außer unſerer Atmoſphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Beſtimmung und über das Verhältniß, in welchem ſie gegen die anderen Körper unſeres Sonnenſyſtems ſtehen, etwas Näheres ſagen zu können.

63. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß jedem einleuchten, der weiß, daß faſt jährlich einer oder mehrere geſehen werden, die ſich von denen unterſcheiden, welche früher ſchon beobachtet wurden und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müſſen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerſcheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird, aber ſelbſt die mit der Aufmerkſamkeit der Aſtronomen in gleichem Verhältniſſe wachſende Anzahl ſolcher Erſcheinungen rechtfertigt ſchon dieſe Annahme. Man beobachtete bis zum J. 1790 kaum 80 Kometen und von dieſen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis jetzt kennt man deren nahe 400. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne geſehen zu werden oder nur in ſüdlichen Gegenden ſichtbar ſeyn, wo ſie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch ſtimmt alles mit der Annahme überein, daß ſich die Kometen nicht wie die Planeten in einer ſchmalen Zone bewegen, ſondern gleichförmig im Raume vertheilt ſind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kamen als Venus und deren gewiß eben ſo viele unbeobachtet

vorübergegangen ſind, ferner im Durchſchnitte alle 500 Jahre dieſelben Kometen wieder ſichtbar werden, ſo mag der Raum zwiſchen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwiſchen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigſtens 400,000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unſers Sonnenſyſtems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

64. Die Sonne galt in frühern Zeiten, beſonders bei den Anhängern der Ariſtoteliſchen Philoſophie für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch ſie habe dunkle Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieſes beſtätiget und zur vollen Gewißheit erhoben. Dieſe Flecken ſind verſchieden an Zahl, Größe und Beſchaffenheit. Manchmal erſcheint die Sonnenſcheibe längere Zeit hindurch ganz makellos; ſo z. B. hat man von 1650 bis 1670 kaum einen und von 1695 bis 1700 gar keinen Flecken beobachtet; in den Jahren 1816, 1817 u. ſ. w. waren ſie ſehr häufig. Die Menge der zugleich vorhandenen und ihre Größe iſt ſehr verſchieden. So fand Scheiner deren auf einmal 50 und König in Manheim 38. Herſchel beobachtete 1779 einen Sonnenflecken, der ſchon mit freiem Auge geſehen werden konnte und mehr als 50,000 Q. Meilen einnahm; meiſtens aber ſind ſie ſo klein, daß man ſie nur mit Fernröhren deutlich ſieht. Die Sonnenflecken haben meiſtens einen ſehr ſchwarzen Mitteltheil und um ihn eine minder dunkle, nebliche Einfaſſung. Indeß gibt es auch ſolche, welche ohne ſchwarzen Kern erſcheinen. Einen ſolchen beobachtete Hevel im Jahre 1643, der faſt ein Drittel des Sonnendurchmeſſers einnahm und ſich endlich in mehrere dunkle Flecken auflöſte. Nach Schröter zeigen ſich die Nebelflecken bei den ſtärkſten Vergrößerungen ſtreifenartig und unregelmäßig begrenzt, der Nebel verſchwindet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kerns und oft entſteht nahe am Sonnenrande ſtatt des Nebels ein lichter Ring; andere behalten aber den Nebel ſelbſt am Rande.

Überhaupt ſind dieſe Flecken immerwährenden Änderungen unterworfen, ſie vergrößern und verkleinern, trennen und vereinigen ſich und ändern dabei Geſtalt und Größe.

65. Die Sonnenflecken bewegen ſich insgeſammt vom öſtlichen Rande der Sonnenſcheibe gegen den weſtlichen, verſchwinden daſelbſt, wenn ſie überhaupt ſo lange dauern und ſich nicht ſchon auf der uns zugekehrten Scheibe auflöſen, und kommen oft wieder am öſtlichen Rande zum Vorſchein. Hieraus ſchließt man auf eine Axendrehung der Sonne, deren Dauer 25 T. 14 St. 8 M. beträgt.

66. Außer den dunklen Theilen bemerkt man auf der Sonnenſcheibe auch noch ſolche, die mehr leuchten als der übrige Theil und Sonnenfackeln genannt werden. Herſchel vergleicht ſie mit den Runzeln eines welken Apfels. Viele derſelben liegen einzeln und nicht ſcharf begrenzt auf der Sonnenſcheibe, manche ſind an einander gereiht und erſcheinen wie Landſchaften voll Berge und Thäler; man erkennt ſie aber meiſtens erſt, wenn ſie nahe am Rande der Sonne ſtehen.

67. Über die Natur der Sonnenflecken und Sonnenfackeln gibt es ſehr verſchiedene Meinungen. Einige halten ſie gegen alle Wahrſcheinlichkeit für dunkle, um die Sonne kreiſende Körper, andere für dunkle, aus Sonnenvulkanen ausgeworfene Körper, andere für ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers und noch andere für Stellen, wo die leuchtende Sonnenatmoſphäre durchbrochen iſt und uns einen Blick auf den dunkeln Sonnenkörper verſtattet. Letztere Meinung hat an Wahrſcheinlichkeit gewonnen, ſeit Arago einen Unterſchied zwiſchen dem von gasförmigen und dem von feſten oder tropfbaren Körpern ausgehenden Lichte nachgewieſen und gezeigt hat, daß das Sonnenlicht mit dem Lichte gasförmiger Körper übereinkomme.

68. Wiewohl die ſcheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, ſo iſt doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallaxe, die nur nahe 8″.5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde nahe 21 Millionen Meilen betrage. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer hat 32′ 2″.9 und daher ihr wahrer 112.4 Erdhalbmeſſer, woraus folgt, daß ſie an Oberfläche die Erde 12,641 mal, an körperlichem Inhalt 1.421150 mal übertrifft.

69. Der bekannteſte der Planeten iſt ohne Zweifel Venus,

nämlich jener Stern, den man gewöhnlich Abendſtern oder Morgenſtern nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt, des Abends ſichtbar zu werden, ſo findet man, daß er ſich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis ſeine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück und verſchwindet endlich ganz in den Sonnenſtrahlen. Bald darauf ſieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, ſich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben ſo wieder zu ihr zurückkehren. Es iſt wohl kein Zweifel, daß dieſes derſelbe Stern, wie der vorhin erwähnte, ſey. Der ſcheinbare Durchmeſſer der Venus ändert ſich von 9″ bis 65″. Ihr wahrer Durchmeſſer beträgt 1633 Meilen, alſo nur um 86 Meilen weniger, als der Durchmeſſer der Erde. Sie erſcheint ſehr hell glänzend, manchmal gar ſo, daß man ſie bei Tage ſieht. Mittelſt Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphaſen wie beim Monde, zum Beweiſe, daß ſie, ſo wie dieſer, ein dunkler Körper iſt, der ſein Licht von der Sonne bekommt. Auch Flecken ſieht man an ihr und Unebenheiten von einer ſolchen Größe, daß ſie die Berge auf der Erde weit übertreffen, aus deren periodiſchem Verſchwinden und Wiedererſcheinen ſchon Caſſini auf eine Axendrehung von ungefähr 23½ St. ſchloß. Schröter fand unter dieſen Bergen mehrere von 7 Meilen Höhe. Die meiſten und größten befinden ſich auf der ſüdlichen Halbkugel und bilden dort Ketten, deren einige 200 Meilen lang ſind. Schröter will auch etwas einer Dämmerung Ähnliches an der Lichtgrenze bemerkt haben und vermuthet hieraus das Daſeyn einer Atmoſphäre.

70. Der Planet Merkur zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterſchiede, daß er ſich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieſer geringen Entfernung iſt er auch ſchwer zu ſehen. Der ſcheinbare Durchmeſſer des Merkur wechſelt von 4″—11″.6; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 580 Meilen. Er hat vorzüglich im ſüdlichen Theile hohe Gebirge, welche die höchſten der Erde faſt dreimal übertreffen und Züge von 40 Meilen Breite und 80 Meilen Länge bilden, einen klaren Dunſtkreis und eine Axendrehung von ungefähr 24 St. Er zeigt Phaſes wie der Mond.

Venus oder Merkur ſieht man, nachdem ſie unſichtbar geworden ſind, manchmal wie ſchwarze Scheibchen durch die Sonnenſcheibe gehen und ſo gleichſam eine Sonnenfinſterniß verurſachen. Dieſes Ereigniß iſt für den Aſtronomen von großer Wichtigkeit, weil es

ihm Mittel verſchafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen. (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenſcheibe von Kohl. Greifswalde 1768.)

71. Mars hat ein feuerrothes Licht und eine ſehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmeſſer wächſt von 3″.4 — 27″.2. Sein wahrer Durchmeſſer hält 963 Meilen. Er hat auf ſeiner Oberfläche bedeutende Flecken, wovon mehrere ſich ſehr ſchnell verändern und daher wahrſcheinlich ſeiner Atmoſphäre angehören, andere aber beſtändig ſind und auf eine Umdrehung von ungefähr 24 Stunden ſchließen laſſen. Seine Pole zeigen ein glänzenderes Licht, als die anderen Theile, gerade als wenn er dort mit Eis bedeckt wäre.

72. Jupiter iſt nach der Venus der glänzendſte Planet. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt 30″ — 49″; ſein wahrer Durchmeſſer hält 18900 Meilen oder 11.006 Erddurchmeſſer, ſo daß ſein Volumen das der Erde 1333 mal übertrifft. Seine Scheibe iſt an den Polen merklich abgeplattet, voll Ungleichheiten und Flecken, vorzüglich in der Gegend ſeines Äquators, deren periodiſches Verſchwinden und Erſcheinen eine Axendrehung von 9 St. 56 M. anzeigt. Einige dieſer Flecken ändern ſogar ihren Platz auf der Scheibe des Jupiters oft innerhalb weniger Stunden, ſo daß man glaubt, es ſeyen Wolken, welche in einer unruhigen Atmoſphäre durch Winde bewegt werden.

73. Saturn erſcheint mit etwas blaſſerem Lichte als ein Fixſtern der erſten Größe, unter einem Durchmeſſer von 15″—21″; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 17258 Meilen. Seine Scheibe iſt merklich an zwei Stellen abgeplattet, ſo daß der Durchmeſſer, welcher mit ſeinem Äquator 45° macht, am größten iſt; allein die Abplattung iſt nach Schröter nicht immer von einerlei Größe, ohne daß doch bei dieſer Veränderung die Regelmäßigkeit der Geſtalt leidet, ſo daß es ſcheint, als wäre der Planet von einer flüſſigen Maſſe umgeben, die einer Art Ebbe und Fluth unterworfen iſt. Er zeigt beſtändige und veränderliche Flecken, die eine Umlaufszeit von ungefähr 10 St. verrathen.

74. Uranus erſcheint durch Fernröhre mit einem Durchmeſſer von 3″.5—4″.3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 7500 Meilen.

75. Die Planeten Ceres, Pallas, Juno, Veſta erſcheinen von ſehr geringem Durchmeſſer. Der kleinſte von ihnen iſt Veſta; ſein Durchmeſſer beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber ha-

ben nach Schröter ein ſehr helles blendendes Licht und ſind vielleicht ſelbſt leuchtende Körper. Sie müſſen gewaltige Atmoſphären haben, weil ſie oft, beſonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erſcheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte ſtrahlen.

Vergleicht man alle bisherigen Angaben über das Eigenthümliche jedes Planeten, ſo findet man: daß die Planeten eine verſchiedene ſcheinbare und wahre Größe haben, daß jeder derſelben etwas abgeplattet ſey, eine Bewegung um ſeine Axe von Weſt nach Oſt habe und daß die Neigung der Drehungsaxe gegen die jährliche Bahn bei jedem von anderer Größe ſey. Am größten erſcheint uns bei der größten Annäherung an die Erde Venus, die übrigen folgenden in dieſer Beziehung ſo auf einander: Jupiter, Mars, Saturn, Merkur, Uranus, Pallas, endlich Ceres, Pallas, Juno, Veſta. Im Betreff ihrer abſoluten Größe ſtehen ſie in folgender Ordnung vom größten zum kleinſten: Jupiter, Saturn, Uranus, Erde, Venus, Mars, Merkur, Pallas, Ceres und Juno, Veſta. Die größte Rotationsgeſchwindigkeit oder die kürzeſte tägliche Umlaufszeit hat Jupiter, hierauf folgen: Saturn, Venus, Merkur, Mars, Erde, die Rotationszeit der übrigen iſt unbekannt. Die größte Abplattung hat Jupiter, die übrigen folgen ſo: Saturn, Uranus, Merkur, Venus, Erde, Mars. Die größte Neigung der Rotationsaxe gegen die jährliche Bahn hat Jupiter, die der übrigen nimmt in folgender Ordnung ab: Merkur, Erde, Saturn, Mars, Uranus. Für die anderen übrigen iſt dieſe Größe noch unbekannt.

76. Unter den Nebenplaneten kennen wir natürlich keinen ſo genau, als den treuen Begleiter unſerer Erde, den Mond. An ſeiner Oberfläche bemerkt man ſchon mit freiem Auge ungleichartige Flecken; aber Fernröhre zeigen dieſes viel deutlicher und lehren uns viel Intereſſantes an ihm kennen. Man überzeugt ſich, daß die leuchtenderen, glänzenden Theile, die wie einzelne Puncte, Ringe oder Adern den Mondkörper völlig beſetzt halten, Erhöhungen, die dunkleren aber Thäler und Vertiefungen ſeyen. Denn, wenn ſolche leuchtende Theile an die Beleuchtungsgrenze zu ſtehen kommen, ſo ragen ſie aus dem Dunkel wie Funken hervor, gerade wie die Gipfel unſerer Berge, welche noch Licht von der Sonne bekommen, während die Thäler ſchon im Dunkel liegen; am Rande erſcheinen ſie gar wie Zacken. Sie werfen auch einen Schatten, der ſich wie bei irdiſchen Gegenſtänden mit dem Stande der Sonne ändert. Meſſungen haben gelehrt, daß dieſe Mondberge faſt um $\frac{1}{3}$ höher ſind, als die höchſten Berge unſerer Erde. Auch die Ge-

ſtalt der Mondberge iſt intereſſant. Einige ſind flach wie unſere niederen Bergreihen, andere ſteil und ſtehen entweder in einzelnen Maſſen da oder gehen in Ketten fort und theilen, ſich in Äſte. Vorzüglich häufig kommen jene Berge vor, welche wie ein kreisrunder Wall gebildet ſind; dieſe umgeben zuweilen einen Theil der Ebene, die ihnen zur Baſis dient, ſchließen aber auch oft Vertiefungen wie die Krater unſerer Vulcane ein. Letztere ſind immer vollkommen rund, nicht ſehr hoch und haben nach Außen einen ſanften Abhang und eine ſehr große Baſis. Auch iſt die Tiefe des Kraters deſto größer, je kleiner ſein Durchmeſſer iſt, und das Volumen des Walls entſpricht völlig der Vertiefung, ſo daß man wohl annehmen kann, ſolche Ringberge ſeyen durch vulcaniſche Ausbrüche entſtanden, die am Monde noch jetzt Statt finden müſſen, weil man ſchon öfters im dunklen Theile der Scheibe plötzlich glühende Stellen bemerkt hat und weil nicht ſelten nach einem wohl wahrnehmbaren Leuchten einer Stelle der dort befindliche Berg eine Änderung zeigt. Aus einigen Wällen ragt in der Mitte ein neuer Berg hervor. Die Ebenen und Thäler im Monde erkennt man aus ihrem aſchfarbenen Lichte. Sie ſind nicht unbedeutend und ſo wie auf der Erde von Hügeln und Bergen durchſchnitten. Man hielt dieſe Flecken ehemals für Meere, allein davon iſt man zurückgekommen, weil man bemerkte, daß ſie kein ganz gleichförmiges Licht haben, wie es beim Waſſer der Fall ſeyn müßte. Etwas dem Waſſer Ähnliches kann man am Monde gar nicht wahrnehmen. Man hat eigene Karten, welche die Mondesfläche darſtellen.

77. Wenn der Mond eine Atmoſphäre hat, ſo muß ſie aus einem ſehr feinen Stoffe beſtehen; ganz kann man ſie ihm nicht abſprechen, weil ſich bei Sonnenfinſterniſſen etwas wie ein grauer Nebel um den Mondkörper zeigt und weil kurz vor und nach dem Neumonde etwas unſerer Dämmerung Ähnliches an den Hörnern des erleuchteten Theils des Mondes erſcheint. Man will in dieſer Atmoſphäre ſogar ein, unſeren Wolken ähnliches, nur vielmal ſchwächeres, Phänomen entdeckt haben. (Schröter's ſelenotopographiſche Fragmente. Göttingen 1791.)

78. Der Mond muß ſich in derſelben Zeit, in welcher er ſynodiſch um die Erde geht, um ſeine Axe bewegen, denn ſonſt könnte er uns nicht immer dieſelbe Seite zukehren. Wenn uns auch periodiſch manchmal kleine Theile ſeiner entgegengeſetzten Scheibe ſichtbar werden, ſo kommt dieſes auf Rechnung der Gleichför-

migkeit ſeiner Axendrehung und der Ungleichförmigkeit ſeiner Bewegung um die Erde, der Neigung ſeiner Bahn gegen die Ecliptik, ſeiner Axe gegen ſeine Bahn, und daher, daß wir uns nicht im Mittelpuncte der Erde, ſondern auf ihrer Oberfläche befinden.

79. Der wahre Durchmeſſer des Mondes beträgt 480 geographiſche Meilen, mithin ſeine Oberfläche 727,600 Quadratmeilen oder $\frac{8}{100}$ von der Erde und ſein Volumen $58\frac{1}{3}$ Millionen Kubikmeilen, mithin 50 mal weniger als das der Erde. Seine Entfernung von der Erde hat 51,800 Meilen.

Aus allem bisher vom Monde Geſagten wird man leicht die Frage beantworten können, wie es daſelbſt mit dem Wechſel des Lichtes und der damit in Verbindung ſtehenden Wärme ausſehe. Die Sonne befindet ſich nie nördlich oder ſüdlich vom Mondäquator. Die Bewohner des Äquators dieſes Himmelskörpers haben die Sonne beſtändig im Zenith, die unter den Polen beſtändig im Horizonte. Der Tag im Mond fällt mit dem ſynodiſchen Mondenmonat von $29\frac{1}{2}$ Erdtagen zuſammen und jeder Ort hat die Sonne 15 Tage ununterbrochen über, 15 Tage unter dem Horizont und faſt immer iſt Tag und Nacht gleich. Eben ſo ſehen die Mondbewohner die Sterne nur alle $29\frac{1}{2}$ Tage einmal auf- und untergehen, aber die Erde ſcheint ihnen faſt unbeweglich zu ſtehen und nur kleinen Schwankungen unterworfen zu ſeyn. In der Mitte der uns zugekehrten Seite ſteht ſie beſtändig im Zenith. Am Rande des Mondes ſieht man die Erde immer im Horizonte, in den mittleren Puncten in einer Höhe, die weniger als 90° beträgt. Die Bewohner der von uns abgewendeten Mondſcheibe bekommen die Erde nie zu ſehen, wenn ſie nicht auf die andere Seite Reiſen unternehmen. Dafür iſt auch das Schauſpiel, das ihnen die Erde darbietet, deſto prächtiger. Sie erſcheint faſt viermal größer im Durchmeſſer als uns der Mond, nimmt alle Lichtgeſtalten vom erſten Schimmer des Neumondes bis zum Glanze des Vollmondes an, zeigt ſich dem Beobachter in 24 Stunden von allen Seiten, und ſchon mit unſeren unbewaffneten Augen würde man daſelbſt eine Erdkarte entwerfen können; ja mit unſeren Fernröhren würde man auf dem Monde nicht blos unſere Gebirgszüge, ſondern ſogar einzelne Erhöhungen, Städte und Thürme, den Lauf der großen Flüſſe, ja ſogar den Zug einer Armee beobachten können.

80. Die phyſiſche Beſchaffenheit der übrigen Nebenplaneten iſt uns völlig unbekannt. Weil ſie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur ſehr klein ſind, ſo zeigen ſie ſelbſt durch die beſten Fernröhre keine begrenzten Flecken und man kann auf das

Daſeyn von Unebenheiten auf denſelben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes ſchließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günſtige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten ſchließen laſſen.

Zehntes Kapitel.

Urſache der Planetenbewegungen.

81. Die große Übereinſtimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnenſyſtems läßt ſchließen, daß ſie alle durch Kräfte hervorgebracht werden, die nach denſelben Geſetzen wirken; ja man kann ſchon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft ſey, deren Wirkſamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird dieſe Vermuthung erſt, wenn man die Erſcheinungen der Planetenbewegung nach mathematiſchen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beſchreiben, ſo muß durch ihre Bewegung ein Beſtreben entſtehen, ſich vom Mittelpuncte der Bahn zu entfernen; weil dieſes aber nicht geſchieht, ſo muß auch eine andere Kraft da ſeyn, welche der Fliehkraft entgegenwirkt und ihre Wirkung aufhebt. Weil die Planeten ſich ſo bewegen, daß die um die Sonne beſchriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen ſie beſchrieben werden, proportionirt ſind; ſo muß ihre Bewegung eine Centralbewegung ſeyn und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben. Weil die Bahnen der Planeten Ellipſen ſind, in deren einem Focus ſich die Sonne befindet, ſo muß, wie man ſtreng beweiſen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben, großen Axen der Planetenbahnen proportionirt ſind, ſo iſt die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derſelben Natur und wird blos durch die Entfernung modificirt. Ja dieſe Kraft muß ſich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erſtrecken, weil ſonſt der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Maſſe der Planeten abhängen müßte und das gerade genannte Kepler'ſche Geſetz nicht Statt finden könnte. Dieſes alles zuſammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten

werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt, und ſo abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt.

82. Da ſich die Nebenplaneten nach denſelben Geſetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie dieſe um die Sonne, indem ſie um ihre Hauptplaneten Ellipſen beſchreiben, den Zeiten proportionirte Sectoren zurücklegen und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt ſind; ſo muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieſelben Geſetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl dieſe Schlüſſe nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, ſo läßt ſich ſchon der Analogie nach ſchließen, daß auch die trabantenloſen Planeten von dieſem Geſetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Geſtalt derſelben iſt allein ſchon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem dieſe nur bei einem Beſtreben aller materiellen Theile nach einem gemeinſchaftlichen Mittelpuncte Statt finden kann.

83. Da nun die Intenſität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt; ſo muß ſich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht blos auf die Planeten, ſondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erſtrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen, ſo daß man ſagen kann, dieſe Anziehung iſt wechſelſeitig; jeder Körper zieht alle anderen an, jeder wird von allen anderen angezogen, und die Anziehung iſt eine allgemeine Eigenſchaft der Materie, muß daher mit der Menge derſelben zunehmen. Der allgemeinſte Ausdruck des Anziehungsgeſetzes iſt alſo $p \cdot \frac{M}{D^2}$, wo M die anziehende Maſſe bezeichnet, D die Entfernung, in welcher ſie auf einen Körper wirkt, und p die Anziehung der Maſſe $= 1$, in der Entfernung $= 1$, ſo wie in *I*. 98, als Lehnſatz angenommen wurde.

84. Die Leichtigkeit, mit der man aus dieſem Geſetze die Phänomene der irdiſchen Schwere erklärt, läßt ſchon vermuthen, daß die Anziehungskraft der Himmelskörper mit der Schwere einerlei ſey. Der Umſtand, daß dieſes Geſetz die Wirkung eines Körpers von ſeiner Maſſe abhängig macht, bringt dieſe Vermuthung faſt zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung

dar: Da ſich der Mond faſt in einem Kreiſe um die Erde bewegt, ſo gibt der Querſinus des Winkels (*I.* 255) die Größe des Weges an, um den er ſich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn er nicht durch die Tangentialkraft ſeitwärts abgelenkt würde. Dieſer Querſinus läßt ſich aus der Beobachtung des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man hierauf den Weg, um den ſich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdiſche Schwere ſich bis zu ihm erſtreckt, nach der Vorausſetzung, daß ſie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt; ſo findet man mit den nöthigen Correctionen genau dieſelben Reſultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweiſe, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde ſey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung **Gravitation** nennen und an ihr das unſichtbare Band erkennen, welches die Körperwelt zuſammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelskörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denſelben Geſetzen regiert.

85. Eine nothwendige Folge dieſes Geſetzes iſt, daß ſich nicht blos die Planeten um die Sonne bewegen, ſondern daß ſich das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne um einen gemeinſchaftlichen Mittelpunct (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zuſammengenommen an Maſſe weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Maſſe, nicht aber wegen einer phyſikaliſchen Eigenſchaft, die Macht, die Planeten um ſich herumzuführen. Könnte die Maſſe irgend eines Planeten ſo ſehr vermehrt werden, daß ſie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, ſo würde er die Sonne ihrer Würde entſetzen und ſie mit den übrigen Planeten um ſich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, deſſen Maſſe die Summe der Maſſen der Sonne und der Planeten übertrifft; ſo muß das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne auf ähnliche Weiſe um ihn herumgehen, wie ſich z. B. Jupiter ſammt ſeinen 4 Trabanten um die Sonne bewegt.

86. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgeſetzes iſt, daß die Planeten ſelbſt auf einander einwirken und ſich in ihren rein elliptiſchen Bewegungen ſtören; ja ſelbſt die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der geringen Maſſe

der Planeten gegen die der Sonne ſehr unbedeutend ſind. Genaue und lang genug fortgeſetzte Beobachtungen zeigen dieſe Störungen, welche die Aſtronomen **Perturbationen** nennen, genau ſo, wie ſie die nach dem Geſetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; ſie lehren, daß die Planeten nach ihrer verſchiedenen Lage gegen einander auch verſchieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden und daß ihre Geſchwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Hiermit weicht der Ort, den ein Planet in ſeiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptiſchen Bewegung einnehmen würde und ſelbſt alle Elemente der Ellipſen erleiden dadurch Veränderungen, ſie werden bald enger bald weiter, ſchieben ſich um den Brennpunct, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf dieſe Weiſe erweitert ſich z. B. die Erdbahn beſtändig ſeit Jahrtauſenden, modiſicirt dadurch den Erfolg die Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond ſo, daß ſeine Geſchwindigkeit ſtets, wenn auch nur ungemein wenig, zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ecliptik ſeit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es iſt wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Maſſe und die des Mondes wegen ſeiner Nähe am bedeutendſten ſeyn müſſen. Für ſie wird ſogar die Geſtalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Beſchaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht ſo groß iſt, daß man dieſe als Punct anſehen könnte, und ſie auch keine Kugel iſt, bei der man die ganze Maſſe in einem Puncte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgeſetze angeſtellte Rechnungen lehren auch, daß durch dieſe Einwirkung auf die an den Polen abgeplattete Erde das Vorrücken der Äquinoctialpuncte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht blos das Daſeyn gewiſſer Bewegungen, ſondern auch ihre Größe an; durch ſie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man ſie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene iſt man früher durch Reſultate des Calculs aufmerkſam gemacht worden, als ſie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat ſich das Gravitationsgeſetz als vollkommen richtig bewährt.

87. Aus dem Geſetze der Gravitation kann man auch die Maſſe,

das abſolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, ſo wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der erſten Secunde zurücklegt. Dieſe Berechnung gründet ſich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen iſt, ſo muß ſie mit der Maſſe des anziehenden Körpers zunehmen; andererſeits kann man aber die Anziehung durch den Querſinus des Bogens ſchätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird und welcher deſto größer iſt, je ſchneller die Bewegung vor ſich geht oder je kleiner bei derſelben Entfernung die Umlaufszeit iſt. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, ſo gibt ihr verkehrtes Verhältniß das der Maſſen der Centralkörper. Auf dieſe Weiſe hat man das Verhältniß der Sonnenmaſſe zur Maſſe jedes Planeten beſtimmt, der von Trabanten umgeben iſt. Die Maſſen der Planeten, welche keine Trabanten haben, muß man aus den Perturbationen, die ſie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf dieſem Wege hat man die Maſſe des Mars und der Venus kennen gelernt und ſich überzeugt, daß die Maſſe des Merkurs nur ſehr klein ſey, weil ſeine Störungen gar nicht merklich ſind, wiewohl man die wahre Größe derſelben nicht genau zu beſtimmen im Stande war. Indeß nimmt man ſie ſo an, wie ſie ſich aus der Vorausſetzung ergibt, daß die Dichte der Planeten im verkehrten Verhältniſſe mit ihrer mittleren Entfernung von der Sonne ſtehe. Aus der Maſſe, verglichen mit dem Volumen, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, ſo wie den Fallraum in der erſten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Maſſe.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der erſten Secunde.
Sonne	329630	0,236	398,44 F.
Merkur	0.162721	2,398	12,63
Venus	0.924269	1,01	14,95
Erde	1.000000	1,00	15,1
Mars	0.129453	0,66	5,81
Veſta	0.000078	1,2	0,73
Juno	0.004078	0,53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2,85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	308.9406	0,21	40,3
Saturn	93.75218	0,095	14,04
Uranus	16.90062	0,185	12,7

88. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Beſtreben, ſich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen iſt aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Urſache einen nicht durch ſeinen Mittelpunct gehenden Stoß erhalten habe; ſo hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich ſeine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus ſeiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (*I.* 258.)

Eilftes Kapitel.

Fixſterne. Größe des Weltalls.

89. Bei weitem der größte Theil der ſichtbaren Sterne beſteht aus Fixſternen. Um ſie nur einigermaßen zu überſehen, hat man den ganzen Himmel gleichſam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Conſtellation oder Sternbild genannt und jedes mit einem beſonderen Namen bezeichnet, von dem ſich aber durchaus nicht auf die Geſtalt, der die Conſtellation ähnlich iſt, ſchließen läßt. Man lernt ſie kennen durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf ſtarkem Papier verzeichnet iſt, in dem die Sterne durch runde Löcher vorgeſtellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der ſüdlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beſchreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S. 72—109. Lalande's Sternkunſt. Leipzig 1775. S. 129—149. Bode's Anleitung zur Kenntniß des geſtirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809.)

90. Der erſte Blick auf den geſtirnten Himmel lehrt ſchon, daß nicht alle Fixſterne gleich ſtark glänzen und daß einige derſelben vorzugsweiſe ſtark leuchten, andere hingegen ein ſo ſchwaches Licht haben, daß man ſie nur in ſehr heiteren Nächten ſieht. Die glänzendſten Sterne heißt man Sterne der erſten Größe, die nächſtfolgenden Sterne der zweiten Größe u. ſ. f. Mit freiem Auge ſieht

man nur die Sterne der 6 erſten Größen. Sterne der erſten Größe gibt es nach Einigen 20, nach Andern nur 12, die glänzendſten darunter ſind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Claſſen wächſt mit der Zahl der Claſſen ſehr raſch. Die erſten 6 Claſſen enthalten ſchon 5000 und die erſten 11 Claſſen nach Lalande 50,000 Sterne; die der folgenden Claſſen iſt unzählbar.

91. Die Entfernung der Fixſterne von der Erde iſt ſo groß, daß ſie nicht blos von verſchiedenen Puncten der Erde, ſondern ſogar von jedem Puncte der Erdbahn aus an derſelben Stelle des Himmels erſcheinen und daher ſowohl der Durchmeſſer der Erde als jener der Erdbahn gegen ihre Entfernung verſchwindet. Änderte ſich der Platz eines Sternes am Himmel für zwei einander gerade gegenüberſtehende Stellen der Erdbahn, d. h. ihre doppelte jährliche Parallaxe nur um 2″, wäre mithin dieſe Parallaxe ſelbſt nur 1″; ſo betrüge ſeine Entfernung ſchon $\frac{1}{\sin 1''} = 20.6264$ Halbmeſſer der Erdbahn (Erdweiten), ein Raum, den eine Kanonenkugel mit einer Geſchwindigkeit von 1000 Fuß für 1 Secunde erſt in 2.896000 Jahren zurücklegen würde; aber ein ſolcher Winkel würde bei der großen Vollkommenheit der aſtronomiſchen Meßinſtrumente den Aſtronomen nicht entgangen ſeyn, und man muß demnach die Entfernung des nächſten Fixſternes über dieſe Grenze hinaus verſetzen.

92. Die Größe der Fixſterne läßt ſich eben ſo wenig genau beſtimmen, als ihre Entfernung, weil dazu die Kenntniß ihres ſcheinbaren Durchmeſſers gehört, die uns gänzlich fehlt. Herſchel will den ſcheinbaren Durchmeſſer der Wega $\frac{1}{3}''$, des Aldebaran $1\frac{1}{2}''$, der Capella $2\frac{1}{2}''$ gefunden haben. Iſt dieſes richtig, ſo müſſen die Halbmeſſer dieſer Sterne 7, 30, 50 Millionen Meilen betragen, und daher unter Vorausſetzung ihrer Kugelgeſtalt die Sonne an körperlichem Inhalte 46656,4173281 und 19465109 mal übertreffen.

93. Nicht minder Erſtaunen erregend iſt die Anzahl der Fixſterne. Herſchel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieſer Streif der 1375ſte Theil der Himmelsſphäre iſt, ſo müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß ſie überall eben ſo dicht beiſam-

men ſtehen. Allein ſie ſtehen an vielen Stellen noch viel dichter und man kann ohne Übertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigſtens einen Stern enthalte und daher die Geſammtzahl der ſichtbaren Sterne 148507200 ſey. Allein dieſes ſind nur die nächſten Sterne, von den weiter entfernten erkennt man nicht mehr als einen matten Schimmer, wie viele mögen aber bei der nur ſehr unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft ganz unſichtbar ſeyn? Das unbewaffnete Auge ſieht ſelbſt in der heiterſten Nacht nur den kleinſten Theil jener Sterne, welche man mittelſt eines Fernrohres ſieht und da ſelbſt die raumdurchdringende Kraft dieſer Inſtrumente beſchränkt iſt, ſo können auch ſie nur wieder die näheren Sterne ſichtbar machen.

94. Die Sterne ſtehen am dichteſten in der ſogenannten Milchſtraße, die den ganzen Sternenhimmel als eine Zone von ungleicher Breite, die ſich an einigen Stellen in zwei Zonen theilt, faſt in der Richtung eines größten Kreiſes umfaßt. Ihr milchiger Schimmer kommt von dem verworrenen Lichte einer zahlloſen Menge von Sternen her; an den beiden Polen dieſes Gürtels iſt der Himmel am wenigſten mit Sternen beſetzt, je mehr man ſich aber davon entfernt, deſto dichter erſcheinen ſie. Höchſt wahrſcheinlich bilden die Sterne der Milchſtraße ein eigenes Sternenſyſtem, deſſen Mittelpunct nahe an unſerem Sonnenſyſteme liegt, ein Syſtem, wie es deren mehrere, ja unzählige gibt. Man ſieht nämlich an vielen Stellen des Himmels lichte Stellen, deren einige ſich nur durch vorzügliche Fernröhre in einzelne Sterne auflöſen laſſen und wieder andere, über welche ſelbſt die beſten Fernröhre nichts vermögen, oder die ſie nur wieder in nebelartige lichte Puncte auflöſen. Man nennt ſie Nebelflecken. Herſchel hat deren über 3000 entdeckt. Auch dieſe würden gleich der Milchſtraße die Erde wie ein Gürtel zu umſpannen ſcheinen, wenn ſie ſich innerhalb desſelben und nicht weit von deſſen Mittelpunct befände, und umgekehrt würde uns die Milchſtraße, wenn wir uns um 100 ihrer Durchmeſſer außer ihr befänden, nur wie ein Nebenfleck von 17′ erſcheinen.

95. Die Fixſterne müſſen leuchtende Körper, wie unſere Sonne, ſeyn, weil ſie von einer ſo großen Entfernung noch geſehen werden können. Sollten aber wohl dieſe Millionen Sonnen nicht auch von Planeten umgeben ſeyn, denen ſie Licht und Wärme zuſenden? Man kann füglich die Vermuthungen noch weiter treiben und es für wahrſcheinlich halten, daß alle dieſe Sonnenſyſteme ſelbſt wie-

der eine Bewegung um einen Centralkörper haben. Dieſes machen vorzüglich jene Sterne wahrſcheinlich, die durch Fernröhre als zwei oder gar als mehrere Sterne erſcheinen und daher Doppelſterne oder mehrfache Sterne heißen. Viele dieſer Sterne mögen allerdings nur ſcheinbar ſo nahe ſtehen, die meiſten aber ſind höchſt wahrſcheinlich einander wirklich ſehr nahe und machen vielleicht ein durch Attraction verbundenes, beſonderes Syſtem aus. Beobachtungen haben gelehrt, daß wirklich beide Sterne eines Doppelſternes eine eigene Bewegung im Raume haben, daß ſich aber einer um den anderen bewegt, und man hat ſogar Gründe zu glauben, ſie bewegen ſich wie die Planeten in elliptiſchen Bahnen, ſo daß man alſo an ihnen ein Beiſpiel der Bewegung eines leuchtenden Körpers um einen anderen hätte. Daſſelbe bemerkt man auch an den mehrfachen Sternen, wo ſich eine ganze Gruppe von Sternen um einen Stern bewegt.

96. Merkwürdig ſind die Veränderungen, die man an einzelnen Sternen bemerkt. Einige haben einen periodiſchen Lichtwechſel; ſo nimmt z. B. Algol innerhalb 69 Stunden an Lichtſtärke ab und zu, ein Stern im Wallfiſche hat eine ſolche Periode von 332, ein anderer in der Waſſerſchlange eine von 494 Tagen. Man glaubt, dieſe Erſcheinung komme von einer Axendrehung der Sterne, durch welche uns bald ein ſtärker, bald ein ſchwächer leuchtender Theil der Sternoberfläche zugewendet wird. Man hat auch ſchon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erſcheinen, einige Zeit ſichtbar bleiben und dann eben ſo plötzlich wieder verſchwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Caſſiopea ſichtbar wurde. Er erſchien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte ſeine Farbe öfters und verſchwand nach 6 Monaten, ohne ſeinen Platz am Himmel zu verändern. Jeder Fixſtern hat auch eine eigene Bewegung im Raume, die aber erſt nach einer langen Reihe von Jahren bemerkbar wird. Über die Richtung und Größe dieſer Bewegung läßt ſich noch nichts Sicheres behaupten.

97. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Syſtemen beſtehe, deren Theile durch das Geſetz der gegenſeitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget ſind. Das kleinſte dieſer Syſteme iſt das der Trabanten und ihres Hauptplaneten; das nächſt größere bilden die Planetenſyſteme, deren einem unſere Erde angehört. Millionen ſolcher Planetenſyſteme mit ihren Sonnen bewegen ſich um einen größeren Centralkörper und bilden wieder ein höheres Syſtem; eine ungemeſ-

ſene Zahl ſolcher Syſteme erkennt wieder einen anderen Centralkörper als Beherrſcher und bildet ein Syſtem, wovon unſere Milchſtraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorſtellt, und ſo überſteigt der ſichtbare Theil der Schöpfung ſchon die engen Grenzen unſeres Verſtandes, und doch iſt er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, deſſen Größe unſer Vorſtellungsvermögen überſteigt. — Nähere Belehrung über dieſen Abſchnitt ſuche man außer den angeführten in folgenden Werken: *Astronomie par M. de* L a l a n d e. *Paris* 1771—81. *Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B.* B i o t. *Paris* 1810. *Astronomie théorique et pratique par M. de* L a m b r e. *Paris* 1814. Aſtronomie von B o h n e n b e r g e r. Tübingen 1811. Theoretiſche u. practiſche Aſtronomie von L i t t r o w. 2 Th. Wien 1821. *Traité de mécanique céleste par P. S.* L a p l a c e. *Paris VII. Traité d'Astronomie théorique par* S c h u b e r t. *Petersbourg* 1822. Populäre Aſtronomie von J. L i t t r o w. Wien 1825. Populäre Aſtronomie von F r a n k e n h e i m. 2. Aufl. Braunſchweig 1829. Vorleſungen über Aſtronomie von J. J. L i t t r o w. Wien 1830.

Zweiter Abſchnitt.

Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel.

Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen.

98. Was über die Geſtalt und Größe der Erde bekannt iſt, enthält der erſte Abſchnitt dieſes Theiles. Es iſt aber überdieß noch als phyſikaliſche Eigenſchaft des Erdkörpers ſeine Dichte bemerkenswerth. Cavendiſh unterſuchte im Jahre 1797 mit einer der Coulomb'ſchen Drehwage ähnlichen Vorrichtung die mittlere Dichte der Erde, indem er ihre Anziehung mit der einer Maſſe von bekannter Dichte verglich, und fand ſie gleich 5.48. Dubourguet berichtigte dieſes Reſultat und ſetzte es auf 4.5 herab. Maskelyne leitete die Dichte der Erde von der Anziehung ab, welche ein Berg in Schottland, Namens Shehallien, auf ein Bleiloth ausübte, und fand ſie mittelſt der von Hutton und Playfair beſtimmten Maſſe des Berges gleich 4.71. Carlini endlich beſtimmte die Einwirkung des Mont Cenis auf die Schwingungen eines Secundenpendels und leitete daraus die Dichte 4.39 ab. Nimmt man 4.71 als wahren Werth der Dichte an, ſo findet man das Gewicht der ganzen Erde gleich 10345960 Trillionen Pfund. Nimmt man an, die Erde ſey einmal flüſſig geweſen, ſo folgt daraus ſchon von ſelbſt, daß ihre Dichte gegen den Mittelpunct zu immer größer wird, weil da nothwendig die leichteren Maſſen auf den dichteren ſchwimmen mußten. Dieſe Vermuthung wird zur Gewißheit, wenn man bedenkt, daß die Maſſen, welche die Erdrinde bis zu einer Tiefe von 1000 F. bilden, eine mittlere Dichte von 1.52 geben; denn neben dieſem kann obiges Reſultat nur beſtehen, wenn die Erde gegen den Mittelpunct an Dichte zunimmt, wie ſchon Newton vermuthete und auch aus Pendelverſuchen unmittelbar

folgt. Selbſt bei derſelben Entfernung vom Mittelpuncte haben nicht alle Schichten der Erde einerlei Dichte, ſondern es gibt hierin örtliche Verſchiedenheiten, weil es im Inneren der Erde viele Klüfte und Höhlen gibt und die Subſtanzen, aus welchen die Erde beſteht, nicht allenthalben genau in derſelben Ordnung auf einander folgen. An Pendelſchwingungen laſſen ſich dieſe Ungleichheiten recht wohl bemerken.

99. Die Oberfläche der Erde iſt größtentheils vom Meere bedeckt, das feſte Land ragt aus dem Meere in Geſtalt von drei ſehr großen und vielen kleineren Inſeln hervor. Die größte darunter enthält *Europa* (phöniziſch: Land der Weißen), *Aſien* und *Afrika* (Sandland); die nächſt kleinere *Amerika*, die dritte iſt *Auſtralien*. Man rechnet auf Europa 172000 Quad. Meilen, auf Aſien 640000, auf Afrika 530000, auf Amerika 570000, auf Auſtralien 140000, auf geſammte kleinere Inſeln 1000000, daher hat das geſammte feſte Land 3052000 Quadratmeilen, während die geſammte Erdoberfläche über 9 Mill. Quadratmeilen enthält, ſo daß ſich demnach die Oberfläche des Landes zu der des Meeres wie 1 : 3 verhält. Von den größten Inſeln der Erde, welche den Namen *Welttheile* führen, liegt nur Auſtralien ganz in der ſüdlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden ſich Europa ganz, Afrika und Amerika aber größtentheils in der nördlichen Halbkugel, überhaupt verhält ſich in der ſüdlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum feſten Lande wie 3 : 1, während dieſes Verhältniß in der nördlichen nahe 3 : 2 iſt; auch erſtreckt ſich das bekannte feſte Land in der nördlichen Hemiſphäre weiter gegen den Pol, als in der ſüdlichen. Dagegen hat die ſüdliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inſeln, beſonders nahe am Äquator; die meiſten liegen aber einander ſehr nahe, ſo daß ſie immer ganze Gruppen bilden. Dieſes zeigt ſich beſonders an der Südſeite von Aſien, wo ſich die Inſeln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundſchafts- und die Geſellſchaftsinſeln befinden.

100. Der Umriß des feſten Landes und des Meeres iſt nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematiſches Geſetz Gebundenes wahrnehmen könnte, auch ſtimmen nicht alle Theile desſelben mit einander überein; denn Amerika iſt am meiſten von Nord nach Süd, die alte Welt mehr von Oſt gegen Weſt ausgedehnt. Nur darin ſtimmen alle Continente mit ein-

ander überein, daß ſie gegen Süden in eine Spitze auslaufen und gegen Norden ſich erweitern, ſelbſt manche der größeren Inſeln haben dieſen Charakter. Die Continente der alten und neuen Welt ſind durch ſchmale Landengen in zwei Theile getheilt, dieſe durch die Landenge von Panama, jene durch die Landenge von Suez; beide Landengen liegen in der nördlichen Halbkugel und in nicht ſehr verſchiedenen Breiten.

Zweites Kapitel.

Gewäſſer der Erde.

101. Das Waſſer, welches den größten Theil der Erdoberfläche bedeckt, iſt in einem beſtändigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Kraft der Wärme in Dünſte verwandelt, ſteigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von dieſen wieder als Regen herab, dringt in die Erde ein, erſcheint wieder in Quellen, ſammelt ſich in Seen und Flüſſen und wird von ihnen zuletzt dem Meere als dem allgemeinen Waſſerbehälter zugeführt.

102. Die Frage, woher die Quellen ihr Waſſer bekommen, hat ſchon die älteſten Naturforſcher beſchäftiget. Weil man aber durchaus wollte, daß allen Quellen dieſelbe Urſache Nahrung gebe, und dabei das, was bei einer als Erklärungsgrund hinreichte, der anderen widerſprach, ſo kam man lange nicht ins Reine. Heut zu Tage weiß man mit Grund, daß mehrere Urſachen den Quellen ihr Entſtehen geben und daß ſich ſogar bei mancher Quelle mehrere Urſachen zugleich wirkſam beweiſen, wenn auch dabei die eine oder die andere vorzüglich thätig iſt. Am wirkſamſten beweiſet ſich in Betreff des Hervorbringens der Quellen das aus der Atmoſphäre gefallene Waſſer. Dieſes dringt in die Felſenritzen ein, fließt darin fort, bis es einen Widerſtand findet, wird hydroſtatiſch gehoben und kommt daher an Stellen zum Vorſcheine, wo es die Beſchaffenheit des Bodens geſtattet. Man hat, um die umfaſſende Wirkſamkeit dieſer Urſache zu zeigen, die Waſſermenge zu berechnen geſucht, welche aus einem Lande in einem Jahre mittelſt der Flüſſe weggeführt wird, ſie mit derjenigen verglichen, welche jährlich aus der Atmoſphäre niederfällt, und gefunden, daß letztere die erſtere weit

übertrifft und daß daher, ungeachtet des für das vegetabile und thieriſche Leben nöthigen Bedarfs, noch eine hinreichende Menge als Reſt bleibe, um alle Quellen zu ſpeiſen. So fand Mariotte, daß in der Gegend von Dijon auf eine franzöſiſche Quadratmeile jährlich 238050000 Kubikfuß Waſſer fallen; er verlegte die Quelle der Seine 60 Meilen oberhalb Paris und nahm an, daß ſie auf eine Breite von 50 Meilen das atmoſphäriſche Waſſer aufnehme. Hierdurch würde ſie jährlich 714150 Millionen Kubikfuß Waſſer erhalten. Er fand aber, daß kaum $\frac{1}{6}$ davon durch die Königsbrücke zu Paris fließe und daß, wenn auch vom obigen, atmoſphäriſchen Waſſer $\frac{1}{3}$ wieder verdünſtet und eben ſo viel für Pflanzen und Thiere verbraucht wird, doch noch $\frac{1}{3}$ zur Unterhaltung der Quellen und Flüſſe übrig bleibe, welches mehr als hinreichend iſt. Wenn auch gegen dieſe Berechnung nicht ungegründete Einwürfe gemacht werden können, wie ſie denn auch wirklich gemacht worden ſind; ſo ergibt ſich doch aus anderen, ſicherern Verſuchen Dalton's, daß das Regen- und Schneewaſſer wenigſtens dreimal das an Menge übertrifft, welches durch die Flüſſe ins Meer geführt wird. Das durchgeſinterte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwaſſer kann auch einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen von dieſer Art müſſen ſich durch ihr ſalziges Waſſer von den anderen unterſcheiden, weil das Meerwaſſer durch bloßes Aufſteigen, ſey es auch durch die feinſten Spalten und Ritzen, von den chemiſch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann, auch können ſolche Quellen nicht hoch über dem Meeresſpiegel liegen. Weil ſich im Inneren der Erde viele ausgebreitete Waſſerbehälter befinden müſſen, ſo iſt es auch denkbar, daß die durch Beſchaffenheit der Erde oder durch locale Urſachen bewirkte Erwärmung das Waſſer zum Verdünſten bringe; die Dünſte ſteigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zuſtand über und kommen in ſolchem zum Vorſcheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Waſſer durch den Druck eines expanſiblen Körpers herausgetrieben wird und ſo nicht nur eine Quelle übethaupt, ſondern ſogar einen völligen Springbrunnen bildet.

103. Die verſchiedenen Quellen unterſcheiden ſich von einander durch die Menge, Beſchaffenheit und Temperatur ihres Waſſers und durch ihre Beſtändigkeit oder ihren Wechſel. Einige Quellen fließen ununterbrochen und man bemerkt durch-

aus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Waſſers; die meiſten erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahrszeiten Änderungen ihres Waſſerreichthums. Diejenigen Quellen, welche blos vom Nebel und Regen geſpeiſet werden, nehmen in heißen Sommern allmälig ab und treten mit dem Beginne der feuchten und regneriſchen Jahrszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Waſſer dem geſchmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee ſchmilzt, den meiſten Zufluß. Einige Quellen fließen nur einige Zeit und verſiegen zu einer anderen gänzlich. In dieſe Claſſen gehören die ſogenannten Hungerquellen oder Theuerbrunnen, die nur bei anhaltender Dürre oder in ſehr regneriſchen Jahren fließen. Andere haben noch kürzere Perioden ihres Fließens und Ausſetzens. Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt ſind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbſt; eine andere im Canton Bern, der ſogenannte Engſtlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte Auguſt, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. Solche Quellen heißen Frühlingsbrunnen und haben in dem, während der warmen Monate, geſchmolzenen Schnee ihren Grund. — Quellen, die wie der Engſtlerbrunnen einen täglichen Wechſel zeigen, gibt es mehrere. So ſoll in Peru auf dem Berge Piro eine Quelle ſeyn, die nur Nachts lauft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen ſoll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten ausſetzen und nur eintretender Regen ſoll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 20 Stunden zweimal Waſſer, ſie fließt 7 Stunden lang und ſetzt dann durch 3 Stunden aus. Das Waſſer der Quelle in Plinius Landhauſe bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieſes periodiſche Fließen hat wahrſcheinlich darin ſeinen Grund, daß ſich im Innern der Erde ein Waſſerbehälter befindet, der mittelſt eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung ſteht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Waſſer im Baſſin ſo hoch ſteht, daß der Heber gefüllt iſt; ſobald aber dieſes geſchieht, läuft es ganz aus. Die berühmteſten, periodiſch fließenden Quellen hat Island an ſeinen Springquellen aufzuweiſen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom ſogenannten Geiſer übertroffen, der ſich zwei Tagreiſen vom

Hekla befindet. Es iſt hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmeſſer und von unbekannter Tiefe, über welcher ſich das Waſſer ein Becken gemacht hat, deſſen oberer Rand 9 Fuß hoch iſt und 56 Fuß im Durchmeſſer hat. Durch dieſe Röhre ſpringt das Waſſer ſiedend heiß verſchiedene Mal des Tages auf eine Höhe von 90 F. und führt oft Steine mit ſich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcaniſche Wirkung im Spiele ſey, erleidet wohl keinen Zweifel. — Manche Quellen erleiden Veränderungen, welche mit dem Gange der Witterung in Verbindung ſtehen und heißen deßhalb wetterlaunige Quellen. Einige verurſachen ein Geräuſch bei ſchlechtem Wetter. Von der Art iſt der Polterbrunnen in Paderborn, der Tambour in Auvergne. Die Urſache des Rauſchens liegt im Freiwerden der im Waſſer enthaltenen Luft, welches beim Hervortreten in die Atmoſphäre geſchieht. Andere Quellen werden bei drohendem Regenwetter trübe; dieſes kommt wohl daher, daß dem Regen meiſtens eine Verminderung des Luftdruckes vorhergeht, welche ein Austreten der in oder unter dem Waſſer enthaltenen Luft und mithin ein Aufrühren des Bodenſatzes bewirkt.

104. Die Temperatur der meiſten Quellen ſtimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo ſie entſpringen, nur in geringen Breiten iſt ſie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig iſt. Bei einigen iſt ſie ſtets geringer als die Lufttemperatur, bei anderen größer. Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet ſich Waſſer, welches das ganze Jahr hindurch ſo kalt iſt, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Waſſerſammlung befindet ſich auf dem Berge Genevre. Medevi am Wetterſee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von $6\frac{1}{2}°$. Übrigens verſteht es ſich von ſelbſt, daß eine Quelle, die eine beſtändige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich iſt, im Sommer kälter, im Winter wärmer erſcheint als die Luft. — Quellen, welche wärmer ſind als die Luft, gibt es in ziemlicher Menge. Sie werden meiſtens als Bäder zur Heilung körperlicher Gebrechen angewendet, erhalten ihre Wärme durch örtliche Urſachen und ſind in der Regel Eigenthum vulcaniſcher Gegenden. Die vorzüglichſten heißen Quellen ſind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Baden bei Wien, Gaſtein im Salzburgiſchen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Air

in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. — Die Temperatur warmer Quellen iſt verſchieden. Einige ſind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 79° R., eine bei Ölve auf Island 80°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quelle zu Bath 45°, die heißeſte von Aachen 40°, von Barege 38¾°, in Gaſtein 38°, von Plombieres 30°.4—53°.6. Einige dieſer Quellen haben, ſo weit unſere Wärmemeſſungen reichen, immer dieſelbe Temperatur gehabt, die ſie jetzt haben, andere ſind von ihrem Wärmegrade ſehr abgewichen, beſonders zur Zeit vulcaniſcher Ereigniſſe. Vor ungefähr 20 Jahren verminderte ſich die Wärme einer der Karlsbader Quellen bei einer Erderſchütterung bedeutend, kehrte aber nach einiger Zeit mit der vorigen Kraft wieder zurück; die Quelle zu Bagneres erlitt durch eine ähnliche Erſcheinung eine Temperaturerhöhung.

105. Da das Waſſer in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmaſſen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten; ſo muß es mit verſchiedenen Subſtanzen geſchwängert hervortreten. Am reinſten iſt das Quellwaſſer, welches aus Granit oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch ſo rein zu ſeyn wie das Regenwaſſer. Dasjenige hingegen, welches durch Kalkgebirge oder Gipslager fließet, nimmt von dieſen Subſtanzen mehr oder weniger auf, bekommt dadurch einen eigenthümlichen Geſchmack und wird hart. Waſſer, das ſehr viele mineraliſche Beſtandtheile enthält, heißt Mineralwaſſer. Wiewohl das meiſte Quellwaſſer einen Antheil kohlenſaurer Luft mit ſich führt, ſo gibt es doch einiges, das vorzüglich viel davon enthält, dadurch einen ſäuerlichen Geſchmack annimmt und deßhalb Sauerbrunnen heißt. Solche Wäſſer enthalten auch immer einen ſolchen Beſtandtheil, der ſich mit der kohlenſauren Luft verbindet, ſo daß darin nebſt anderen auch kohlenſaure Salze vorkommen. Bei vielen ſind dieſes kohlenſaure Alkalien, wie z. B. bei den Brunnen zu Eger, Teplitz, Pyrmont, Bilin, Marienbrunn; nicht ſelten kohlenſaures Eiſen, wie z. B. Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn ꝛc. Einige Waſſer enthalten vorzüglich viel Kochſalz, wie die unzähligen ſogenannten Salzquellen, oder andere ſalzſaure Salze, wie z. B. bei Erfurt, Wiesbaden; andere enthalten Bitterſalz (ſchwefelſaure Bittererde) aufgelöſt, wie z. B. das Seidſchützer, Sedlitzer und Pilna'er Waſſer in Böhmen; andere verbreiten ringsum einen ſchwefeligen Geruch von enthaltener Schwefel-

leber (Schwefelkali), wie z. B. das Badnerwaſſer, der Stinkbrunnen zu Marienbrunn, das Achener- und Weilbacherbad. Seifenartige Waſſer befinden ſich bei Plombiers, ſolche, die ſchwefelſaures Kupfer enthalten, bei Neuſohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden. Sie verwandeln ſcheinbar Eiſen in Kupfer, weil ſich das Eiſen in der Schwefelſäure des Waſſers auflöſet und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieſelſinter führenden und meiſtens heißen Wäſſer haben die Eigenſchaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichſam zu verſteinern. Von der Art iſt beſonders das Karlsbader Waſſer, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig iſt in dieſer Hinſicht die Quelle von *Quanca velica*, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Dieſe breitet ſich über das nächſte Land aus und verhärtet ſelbſt zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Bau verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit dieſem Waſſer füllt und ſie einige Zeit ruhig ſtehen läßt.

106. Daß aus der Erde hervorquellendes Waſſer häufig ſolche Stoffe mechaniſch mit ſich fortreißen müſſe, die es nicht chemiſch aufzulöſen vermag, iſt wohl begreiflich. Solche Subſtanzen ſetzen ſich aber, nachdem das Waſſer in Ruhe gekommen, von ſelbſt wieder ab, während man zur Beſtimmung der chemiſch vereinigten beſonders feiner chemiſcher Kunſtgriffe bedarf. Unter allen ſolchen mechaniſch mit dem Waſſer gemengten Stoffen ſind die brennbaren am merkwürdigſten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt ſind. Die Hauptgegend, wo ſich derlei Stoffe in Quellen befinden, iſt unweit der perſiſchen Stadt Baku. Sie ſchwimmen als ſpecifiſch leichtere Körper auf dem Waſſer der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um ſie abſchöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet ſich die Naphta ſelbſt und dann erſcheint die ganze Waſſerfläche brennend; noch öfter wird ſie abſichtlich in Flammen geſetzt. An einigen Orten kommt ſie ohne Waſſer zum Vorſchein, wie dieſes am ſogenannten Feuerorte der Fall iſt, den die Perſer für heilig halten. Daſelbſt erſcheinen bei trockener Witterung ſtarke, gelblich blaue Flammen, die man mittelſt eines Fächers auslöſchen kann. Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den geſtampften Lehmboden ihrer Hütten zu ſtecken und ſeinem oberen Ende ein

brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa $\frac{1}{2}$ Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000—2000 Fuß Tiefe und 5—6 Zoll Öffnung, die Waſſer mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann. (Zeitſch. 7. 468.)

107. Das Waſſer fließt von den Quellen vermöge ſeiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt ſich zu Bächen und endlich zu Flüſſen und Strömen, wovon ſich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren urſprünglichen Namen vom Urſprunge bis zum Ausfluſſe ins Meer behalten. Die Quellen der meiſten Flüſſe liegen in ſehr hohen Gebirgen. So hat der Rhein am St. Gotthard, der Po am Viſo, die Loire in den Sevennen, die Garonne in den Pyrenäen, die Tiber in den Apenninen, die Drau in den Tyroler Alpen, die Elbe im Rieſengebirge ihre Quelle. Wenn auch einige Flüſſe, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; ſo bekommen doch dieſe ihr Waſſer von Quellen, und man kann den Urſprung der Flüſſe aus Quellen für ein allgemeines Geſetz halten.

108. Der Weg eines Fluſſes verfolgt immer die niedrigſten Stellen der Erdoberfläche. Da nun dieſe nicht in einer geraden Linie liegen, ſo muß auch die Richtung ſeines Laufes verſchieden ſeyn und ſein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieſer Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte Theil einerlei Strich, und es iſt auffallend, daß bedeutende Flüſſe in ihrem Laufe mehr nach Oſt und Weſt als nach Nord und Süd gerichtet ſind.

109. Die Neigung des Bettes gegen den Horizont oder deſſen Gefälle iſt bei den verſchiedenen Flüſſen verſchieden. Der Amazonenfluß hat auf 1000 F. nur $\frac{1}{27}$ Zoll Gefälle, die Loire $\frac{4}{5}$ F., der Rhein zwiſchen Straßburg und Dortrecht $\frac{1}{8}$, die Donau zwiſchen Ulm und Donauwerth $\frac{1}{5}$. Ja ſelbſt derſelbe Fluß hat nicht an allen Stellen denſelben Abhang des Bettes. Die Loire fällt an einigen Orten um einen Fuß in 1520 F., an anderen in 2490 F. In der Regel iſt das Gefälle großer Flüſſe gegen den Urſprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinſten. Überhaupt iſt ein Flußbett nicht wie eine mathematiſche geneigte Ebe ne anzuſehen, ſondern es gibt da eben ſo, wie auf dem feſten Lande, Anhöhen

und Vertiefungen, nur iſt die Summe der erſteren kleiner als jene der letzteren und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle.

110. An vielen Stellen befinden ſich im Flußbette Felſen, welche das daran ſtoßende Waſſer reflectiren und Wirbel erzeugen. Von der Art iſt der Donauwirbel bei Grein. Oft hat es plötzliche Abſätze, über welche das Waſſer mit Gewalt herabſtürzt und einen Waſſerfall bildet. Einer der bekannteſten Waſſerfälle iſt der des Staubbaches unweit Bern, der gegen 1100 F. hoch geſchätzt wird, aber nur auf 900 gemeſſen iſt. Der Reichenbach hat einen Waſſerfall von 200 F., der Rheinfall bei Schaffhauſen beträgt 30 F., der Fall des Velino bei Spoleto 200 F. Die zwei Cataracten zu Viigtil unter dem Polarkreiſe haben vielleicht eine Höhe von 1000 F. Ein kleines Bild dieſer Erſcheinungen gewähren wohl auch der Waſſerfall der Traun bei Lambach, der Schleier-, Keſſel- und Bärnfall bei Gaſtein. Die im Alterthume berühmten Nilfälle ſind nicht ſehr anſehnlich und der größte beträgt nur 50 F. Die größten Fälle hat Amerika aufzuweiſen. Der Niagara hat eine Breite von 720 F. und ſtürzt in zwei Armen über eine Höhe von 137 F. herab, der Sturz des viel kleineren Fluſſes Bogota in Neu-Granada beträgt gar 200—300 Klafter.

111. Die Breite des Flußbettes iſt ſo veränderlich wie die Beſchaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein und bewirken dadurch ein Aufſteigen des Waſſers. Die größte Erſcheinung dieſer Art bietet der Connecticut dar, welcher durch Gebirge von der Breite von 400 Ellen auf 15 Fuß eingeengt wird. Ein ähnliches Phänomen zeigt der gewaltige Amazonenfluß an der Stelle, die Pongo de Manſeriche genannt wird; in ſehr vermindertem Maßſtabe findet dasſelbe mit der Donau vor Grein und bei Orſowa, mit der Elbe bei Leitmeritz und Außig Statt. Gegen den Ausfluß erweitert ſich gewöhnlich das Flußbett bedeutend und theilt ſich auch nicht ſelten in mehrere Arme. Solche Arme hat der Po und die Donau 7, die Wolga 13. Jedoch iſt die Anzahl dieſer Arme veränderlich, weil das Waſſer immer etwas Sand abſetzt und dadurch ſein eigenes Bett erhöht. Der Nil ſoll vor Zeiten 7 Mündungsarme gehabt haben, jetzt hat er deren nur zwei, die ſchiffbar ſind. Die Verengungen des Flußbettes befinden ſich in der Regel immer da, wo es von Felſenmaſſen durchzogen wird, die Cataracten oder Wirbel erzeugen. Schon dieſer Umſtand macht es

wahrſcheinlich, daß die Flüſſe an ſolchen Stellen die Gebirge durchbrochen und ſich mit Gewalt einen Weg gebahnt haben. Hierin wird man noch mehr beſtärkt, wenn man ſieht, daß die Gegenden oberhalb ſolcher Stromengen auffallende Spuren von Überſchwemmungen durch ſüßes Waſſer an ſich tragen, wie ſich dieſes an vielen Stellen nachweiſen läßt. Einige Flüſſe haben noch jetzt ganze Gebirge im Wege, aber letztere bieten ihnen Öffnungen dar, an deren gehöriger Erweiterung das Waſſer gewiß das Seinige gethan hat und in welche ſie ſich nun ergießen können, ſo daß ihr Lauf eine Strecke hindurch unterirdiſch iſt und dann wieder zu Tage erſcheint. Hierher gehört die natürliche Brücke in Virginien, welche über den Cedernfluß führt und gleichſam nur ein Bogen eines eingeſtürzten Kalkgewölbes iſt; ein ähnliches Phänomen ſieht man an den ſogenannten Öfen der Salzach bei Golling. Krain bietet mehrere ſehr intereſſante Fälle dieſer Art dar. Das Bett der Rhone iſt bei der ſogenannten *Porte du Rhone* auf 60 Schritte weit durch ein Felſenſtück bedeckt; der aſiatiſche Ganges ſtürzt ſich auch in einen Felſen und kommt eine Strecke davon wieder zum Vorſchein. Einige Flüſſe verlieren ſich im Sand, wie dieſes mit einem Arme des Guadalquivir in Spanien und des Rheins in Holland der Fall iſt, andere nehmen gar in Moräſten ein Ende, ohne wieder zum Vorſchein zu kommen. Wahrſcheinlich geht da das zu ſehr ausgebreitete Waſſer durch Verdünſtung verloren oder gelangt in einen unterirdiſchen Abfluß.

112. Die Waſſermenge, welche ein Fluß führt, iſt in der Regel deſto größer, je länger ſein Lauf iſt und je mehr Nebenflüſſe oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüſſen der Welt ſind die amerikaniſchen die größten und unter dieſen zeichnet ſich der Amazonenfluß, der St. Lorenzfluß, der Laplata, der Miſſiſſippi und Orinoco vorzüglich aus. Die größten Flüſſe Aſiens ſind: Der Indus, Ganges, Kiangho (blauer Fluß), der Hoangho (gelber Fluß), Amur, Jeniſey, Ob. Die größten afrikaniſchen ſind der Nil, Niger, Senegal, Gambia. Unter den europäiſchen Flüſſen iſt die Wolga der größte. Überhaupt ſind die dieſem Welttheile angehörigen im Verhältniſſe zu den Flüſſen der anderen Welttheile nur ſehr klein, ja der einzige Laplata ſoll ſo viel Waſſer führen, als alle europäiſchen Flüſſe zuſammen. — Die Waſſermenge eines Fluſſes iſt nicht immer gleich groß. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüſſe ſchwellen die Flüſſe an, treten manchmal ſogar über ihr

Bett hinaus und überſchwemmen das Land. Dieſes iſt beſonders bei ſolchen Flüſſen der Fall, in die ſich viele Nebenflüſſe ergießen. Am merkwürdigſten ſind aber jene Überſchwemmungen, die immer zu beſtimmten Zeiten eintreten und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil. Dieſer hat immer vom December bis März das niedrigſte Waſſer, vom März bis Juni wächſt er beſtändig fort und nimmt hierauf eben ſo wieder ab, wie er anwuchs. Die Urſache dieſer periodiſchen Erſcheinung liegt in den Regengüſſen, welche auf dem Mondgebirge und im abeſſiniſchen Hochlande, wo die Quellen des Nils liegen, vom April bis September dauern. Ähnliche, wenn auch nicht ſo ſegenreiche Überſchwemmungen verurſacht auch der Ganges, der Euphrat, der Indus, der Miſſiſſippi und Laplata.

113. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in Flüſſen fortſchreitet, hängt hauptſächlich vom Gefälle ab und iſt in dieſer Hinſicht wie die Bewegung über eine ſchiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geſchwindigkeit nimmt nicht beſtändig zu, wie dieſes bei einer ununterbrochenen ſchiefen Ebene der Fall iſt, weil auch das Flußbett dem Laufe des Waſſers viele Hinderniſſe in den Weg ſetzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geſchwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden ſind, und ſich oft ein anderer Fluß einmündet, deſſen Richtung mit jener des Hauptfluſſes einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geſchwindigkeit ſolcher Flüſſe, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieſes bei den amerikaniſchen faſt durchaus und bei den europäiſchen nahe am Ausfluſſe der Fall iſt, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Waſſer hat auch nicht in allen Theilen eines Querſchnittes dieſelbe Geſchwindigkeit. Ohne alle Hinderniſſe der Bewegung würde die Geſchwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geſchwindigkeit haben, allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet ſich die größte Geſchwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben ſo iſt die Geſchwindigkeit an verſchiedenen Puncten der Breite verſchieden, woran wohl die Hinderniſſe, welche die Ufer dem Fluſſe in den Weg ſetzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geſchwindigkeit am größten iſt, den Stromſtrich. Dieſer befindet ſich bei geraden Ufern meiſtens in der Mitte, bei gekrümmten iſt er aber dem hohlen Ufer am nächſten. — Da bei einem Fluſſe, der weder im Anſchwellen noch Abnehmen begriffen iſt, durch jeden Querſchnitt

gleich viel Waſſer fließen muß, wenn ſich nicht inzwiſchen ein anderes Gewäſſer in ihn ergießt; ſo muß die mittlere Geſchwindigkeit deſto größer ſeyn, je enger das Flußbett iſt. Daher hat der Connecticut dort, wo er durch Felſen ſo eingeengt wird, eine ſolche Geſchwindigkeit, daß er die ſchwerſten Metalle mit ſich fortreißt, ohne ſie untergehen zu laſſen, und daß man ſelbſt mit Gewalt kein Brecheiſen ins Waſſer ſtoßen kann; aus dieſem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. ſ. w. die Geſchwindigkeit der Flüſſe ſo ſehr. — Die ſchnellſten Flüſſe des Erdbodens ſind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Erſtere hat im unteren Theile ihres Laufes 5 F., letzterer gar 7 Fuß Geſchwindigkeit. Um ſich die große Geſchwindigkeit der Donau erklären zu können, muß man ihren langen Lauf von 250 Meilen in Betrachtung ziehen und bedenken, daß ſie, ungeachtet ihre Quelle nicht hoch liegt, doch viele an hohen Orten entſpringende Flüſſe aufnimmt, wie z. B. den Inn, die Drau u. d. m.

114. Die Oberfläche des Waſſers eines Fluſſes iſt nicht eben, ſondern convex oder hohl. Erſteres findet bei Flüſſen Statt, die in der Strombahn bedeutend ſchneller fließen, als in den übrigen Theilen; letzteres bemerket man beim Auslaufe der Flüſſe ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert ſie die Geſchwindigkeit des Waſſers außerhalb des Stromſtriches weniger als im Stromſtriche und macht, daß jenes höher ſteht als dieſes.

115. Das Flußwaſſer iſt ſo wenig rein als irgend ein Quellwaſſer, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineraliſches Waſſer führt, wenn man einige kleine Bäche im ruſſiſchen Reiche und ein Paar Flüſſe in Nordafrika ausnimmt, die Kochſalz führen und wovon einige ſo ſalzig ſind, daß ihr Waſſer gar nicht getrunken werden kann. Die Beſtandtheile, welche das Waſſer mit ſich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem ſchnellen Laufe zum Theile mechaniſch mit fortgeriſſen und bei geringer Geſchwindigkeit wieder abgeſetzt. Von ſolchen Theilen hat dann auch das Waſſer ſeine Farbe. Das hellſte Waſſer führt der Euphrat, Ganges und die Themſe, der Nil hat ein weißes Waſſer, wenn er nicht hoch ſteht, der Hoangho in China iſt gelb; nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffehbraune Flüſſe. Manche Flüſſe führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, der Phaſis in Aſien und beſonders die Flüſſe in Guinea.

116. Es wäre ſehr intereſſant, die Waſſermenge zu kennen, welche alle Flüſſe zuſammen ins Meer tragen. Um dieſe zu finden, müßte man die mittlere Geſchwindigkeit und den Durchſchnitt jedes Fluſſes genau kennen, was aber jetzt bei weitem noch nicht der Fall iſt. Um genäherte Reſultate zu erhalten, ſetzt man dieſe Waſſermengen den Stromgebieten proportional, d. i. dem Flächeninhalte der Gegend, die ihnen Waſſer zuſendet. Dieſe findet man 250 mal größer als die des Rheins, von dem man aus Meſſungen weiß, daß im Mittel durch ſeinen Querſchnitt am Niederrhein jährlich 0.1959 Kubikmeilen Waſſer fließen. Hierdurch erhält man für die Waſſermenge aller Flüſſe den genäherten Werth von ungefähr 49 K. Meilen, welche man wegen häufigem Anſchwellen der Flüſſe wohl auf 75 erhöhen kann.

Die Erfahrung lehrt die Stromgebiete in geog. Meilen, wie folgt:

Amazonenfluß	88,305	Don	6,088
Plata	71,665	Weichſel	3,578
Lorenzſtrom	62,330	Duero	1,638
Miſſiſſippi	53,636	Tago	1,357
Ob	63,776	Seine	1,236
Jeniſei	47,001	Loire	2,378
Lena	36,483	Garonne	1,443
Amur	53,559	Po	1,410
Hoang-Ho	33,686	Trent	0,439
Ganges	22,224	Donau	4,412
Wolga	30,154	Rhein	3,598
Nil	32,620	Weſer	0,874
Senegal	25,614	Elbe	2,800
Dwina	5,890	Oder	2,072

117. Wenn das Waſſer wegen der zu tiefen örtlichen Lage nicht abfließen kann, ſo bildet es einen See oder Sumpf. Erſteres findet dann Statt, wenn das Waſſer eine beträchtliche Ausdehnung und eine ſo große Tiefe hat, daß Waſſerpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen, letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächſe, die am Boden wachſen, unterbrochen iſt.

118. Das Entſtehen eines Sees kann man ſich auf mannigfaltige Art erklären und die Richtigkeit dieſer Erklärungsarten an verſchiedenen Waſſerſammlungen nachweiſen. Entſteht eine Quelle von hinlänglichem Waſſerreichthume und die durch einen ſtarken Druck

herausgetrieben wird, in einer keſſelförmigen Vertiefung; ſo muß das Waſſer den Keſſel ſo weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet oder bis die Oberfläche ſo weit vergrößert wird, daß durch Verdünſtung ſo viel Waſſer verloren geht, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden und aus ihnen kommen oft die namhafteſten Flüſſe hervor. Der See Iwan, aus dem der Don entſpringt, und viele Seen in Amerika ſind von dieſer Art. Es kann auch geſchehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche keſſelförmige Vertiefung kommt, wo er ſich ausbreiten und ſo eine örtliche, einen kleinen See vorſtellende Erweiterung ſeines Bettes erleiden muß, oder daß er in ſeinem Laufe auf Hinderniſſe geräth, die eine Anſchwellung des Waſſers und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Waſſer, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, ſo daß es den Anſchein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig exiſtirenden See ginge, oder es kann die Waſſermaſſe ſo viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verluſt durch Verdünſtung und der Zufluß durch den Strom ſich das Gleichgewicht halten. Im erſten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf ſichtbarem Wege Waſſer auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. In die Reihe der erſteren Seen gehört der Genferſee, durch den die Rhone fließt, der Koſtnitzer See, den der Rhein durchſtrömt, im öſterreichiſchen Salzkammergute der Traun- und Hallſtädterſee. Nordamerika hat deren ſehr viele aufzuweiſen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caſpiſche Meer genannt wird, den Aralſee, das todte Meer u. ſ. f. Erſterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen ſichtbaren Abfluß zu haben. Überdieß können auch noch Überſchwemmungen, Erdfälle und vulcaniſche Ausbrüche Seen erzeugen. Oſtfriesland hat noch jetzt einen unterirdiſchen See, der mit einer feſten Erdrinde überzogen iſt. Stürzt dieſe ein, ſo iſt die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entſtanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingeſtürzten Vulcane ſein Entſtehen.

119. Die Seen ſind auf der Erde verſchieden vertheilt, jedoch kommen in gemäßigten und kalten Gegenden mehr vor, als in heißen, wahrſcheinlich weil daſelbſt die Verdünſtung durch die höhere Temperatur ſo ſehr begünſtigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüſſen nicht ſo leicht das Gleichgewicht halten kann.

Es iſt kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So ſcheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu ſeyn. Nach Herodot war ganz Theſſalien ein von Bergen umſchloſſenes Gewäſſer. Das Verſchwinden der Seen kommt wahrſcheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche ſich das Waſſer einen Ablauf bildete.

120. Die Größe und Geſtalt der Seen iſt ſehr mannigfaltig. Der caſpiſche See iſt einer der größten auf der Erde. Sein Flächeninhalt beträgt 5000 — 6000 Quadratmeilen. Von großer Ausdehnung iſt auch der Baikal- und Aralſee in Aſien, der Wenner- und Wetterſee in Schweden, der Ladoga- und Onegaſee in Rußland. Bei den meiſten Seen iſt eine Dimenſion gegen die andere vorwaltend, beſonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern ſich mehr der Kreisform.

121. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe. So findet man im Wetterſee an einigen Stellen bei 300 Klafter keinen Grund. Der ſchottländiſche See Tay iſt tiefer als 600 Klafter, und der Genferſee hat an der ſavoyiſchen Seite ziemlich nahe am Ufer 800 —900 F. Tiefe. Indeß iſt die Tiefe eines Sees eben ſo wenig unveränderlich als die eines Fluſſes. Gebirgsſeen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren ſich gar periodiſch und füllen ſich dann wieder, wie dieſes beim Cirknitzerſee in Krain der Fall iſt. Solche Phänomene laſſen ſich ganz genügend aus einer Heberwirkung erklären, die dann beginnt, wenn die in der Erde befindlichen, den Heber vertretenden Höhlen ſoweit mit Waſſer erfüllt ſind, daß es die Abflußöffnungen erreicht.

122. Das Seewaſſer iſt nicht rein, ſondern enthält die mannigfaltigſten chemiſch aufgelöſten und mechaniſch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigſten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöſtes Kochſalz, wie z. B. der caſpiſche See, und viele im nördlichen Aſien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das ſogenannte todte Meer enthält, außer einer ſehr bedeutenden Menge Kochſalz, auch noch insbeſondere das ſogenannte Judenpech. Dieſes ſteigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchſäulen und übelriechende Ausdünſtungen ſeine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcaniſche Thätigkeit vermuthen laſſen.

123. Sümpfe und Moräſte entſtehen nur da, wo die Beſchaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht ſo beſchaffen iſt,

daß ſich ein See bilden könnte, und doch das Waſſer nicht ablaufen kann. Die meiſten Sümpfe hat Afrika aufzuweiſen. Moräſte gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

124. Das Weltmeer iſt die ungeheure Waſſerſammlung, welche unter ſich ein zuſammenhängendes Ganzes ausmacht und das feſte Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feſte Land ein und bildet weit hineinreichende Arme, die man Meerbuſen nennt, wohl auch große Binnenmeere, hat in ſeinen Theilen verſchiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder weſentlichen Merkmalen hergenommen ſind und überhaupt viel Willkürliches an ſich haben. Die vorzüglichſten Theile des Weltmeeres ſind: 1) Das atlantiſche Meer, zwiſchen Europa und Nordamerika bis zum n. Polarkreiſe; 2) das äthiopiſche Meer, zwiſchen Afrika und Südamerika; 3) das indiſche Meer, zwiſchen den beiden Halbinſeln Indien und der Oſtküſte Afrika's; 4) das ſtille Meer von der öſtl. Grenze des indiſchen Meeres bis zur Weſtküſte von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole bis an die Nordküſten von Europa, Aſien und Amerika; 6) das ſüdliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopiſchen, indiſchen und ſtillen Meere. Die vorzüglichſten Meerbuſen ſind das mittelländiſche Meer, das ſelbſt wieder die beſonderen Meerbuſen, das adriatiſche und ſchwarze Meer bildet, die Oſtſee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabiſcher Meerbuſen), der perſiſche Meerbuſen, die Meerbuſen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtſchatka (Ochotzker Meer) und von Californien, der mexicaniſche Meerbuſen, die Baffins- und Hudſonsbai ꝛc.

125. Die Seiten des Meeresbeckens, welche man insgemein Küſten nennt, erheben ſich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen ſteil gegen das Waſſer ab, an anderen ſind ſie nicht viel höher als der Waſſerſtand. Hohe, ſchroffe, felſige Küſten ſind meiſtens dort, wo das Meer tief und ſehr ſtürmiſch iſt, ſie ſind aber wahrſcheinlich durch das Meer ſelbſt erzeugt, indem das Land ſo lange weggeſchwemmt und untergraben wurde, bis Felſen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Die höchſte bekannte Küſte der Erde iſt die an der Weſtſeite von St. Kilda, einer der hebridiſchen Inſeln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F.

über die Meeresfläche. Die norwegiſchen Ufer ſind auch faſt durchgängig ſteil und hoch. Zu den niedrigſten Küſten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunſt dem Meere abgewonnen wurden und beinahe niedriger als das Waſſer ſind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Waſſerſtand hervorragende Sandhügel, welche durch das Meer oder durch Flüſſe angeſchwemmt wurden und Dünen heißen. Durch allmälige Vergrößerung ſchließen ſie ſich an die Küſten unmittelbar an und werden zu einem eigentlichen Geſtade. Von dieſen muß aber der ſogenannte Strand unterſchieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Waſſer aus demſelben hervorragt, bei hohem aber von demſelben überdeckt wird und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günſtige Umſtände zu einer Düne und endlich gar zu feſtem Geſtade werden.

126. Der Meeresboden iſt im Ganzen wenig bekannt. Es läßt ſich aber ohne mehrere Unterſuchung einſehen, daß er ſo wie das feſte Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen hat. Die meiſten Inſeln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen feſten Landes liegt, zum Beweiſe, daß dieſe Ketten ſelbſt unter dem Meere fortlaufen. Auch das Geſtein, welches die Küſten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, ſo daß man wohl annehmen kann, die Beſtandtheile des feſten Landes ſeyen mit denen des Meeresbodens im Allgemeinen übereinſtimmend. Dieſes kann man um ſo mehr für wahr halten, als viele Gegenden des jetzigen Continents, deren Beſtandtheile bei der Unterſuchung der Geſetze, nach welchen ſich die Aufeinanderfolge und Beſchaffenheit des Geſteins richtet, auch berückſichtiget wurden, einſt Meeresboden waren. Ungeachtet dieſer Übereinſtimmung der Beſtandtheile des Meeresbodens und des feſten Landes hat erſterer doch einiges Eigenthümliche. Dahin gehören die in einigen Gegenden des Meeres, beſonders in der Südſee, ſo häufigen Korallenbänke. Dieſe erheben ſich vom Grunde des Meeres zu einer ſolchen Höhe, daß ſie oft nahe an den Waſſerſpiegel reichen und unzähligen Inſeln zur Unterlage dienen, oft aber vom Waſſer bedeckt bleiben und die Schifffahrt ungemein gefährlich machen.

127. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meeresbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Reſultate über dieſen Punct, weil ſeine Unterſuchung zu ſchwierig iſt. Das ſicherſte Mittel, die Tiefe zu meſſen, iſt ohne Zwei=

fel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieſes läßt ſich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche ſpecifiſch leichter iſt als das Waſſer, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabſinkt. Deßhalb bedient man ſich zur Erforſchung bedeutender Tiefen ſogenannter Bathometer. Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art gab Hook an. Es beſteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine ſpecifiſch ſchwerer, der andere ſpecifiſch leichter iſt als Waſſer. Läßt man ſie ins Waſſer, ſo macht ſich der leichtere alſogleich vom ſchwereren los, ſobald er den Meeresboden erreicht hat, und ſteigt in die Höhe, ſo daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Unterſinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. Die Tiefe wechſelt von einigen Ellen bis zu mehreren hundert Schuhen. Die größte gemeſſene Tiefe ſoll 1200 Klafter betragen. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man ſich vom feſten Lande entfernt und zwar deſto ſchneller, je ſteiler die Küſten aufſteigen. Sehr ſteile Küſten haben ſelbſt zunächſt an ſich ſo große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung geſtatten. Merkwürdig iſt der ſchnelle Wechſel der Tiefe in Gegenden, wo ſich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beiſpiel des letzteren Falles mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 Seemeilen lang, 20 breit iſt, und 40 Klafter unter Waſſer ſteht ſo, daß die Schiffe ohne Gefahr darüber ſegeln können, zu beiden Seiten iſt aber das Meer unergründlich tief.

128. Die Farbe des Meerwaſſers iſt gewöhnlich grünlich, ins Blaue ſpielend. Jedoch können der verſchiedene Zuſtand der Luft, die Beſchaffenheit des durchſcheinenden Bodens, beigemiſchte organiſche Stoffe die Farbe verſchieden modificiren. An den weſtindiſchen Inſeln iſt das Waſſer ſo durchſichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenſtand bemerkt und ein Fahrzeug in dieſem Gewäſſer wie in der Luft zu hängen ſcheint. Von beſonderer Klarheit ſoll das Waſſer im arabiſchen Meerbuſen ſeyn; im rothen Meere erſcheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei ſtürmiſchem Wetter erſcheint das Meer weiß, vor der Mündung des Plataſtromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Urſache dieſer Färbung angeſehen. An der weſtlichen Seite Afrika's zwiſchen 20—34° nördlicher Breite

und um Florida iſt das Meer, wie eine Wieſe, grün gefärbt, weil es von organiſchen Stoffen ganz überzogen wird.

129. Eine für die Seefahrer ſehr intereſſante Erſcheinung iſt das Leuchten des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff ſo, wie es das Waſſer durchſchnitten hat, leuchtende Furchen hinter ſich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zuſammenſchlagen; oft erſcheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es iſt als ausgemacht anzuſehen, daß dieſes Phänomen durch kleine Thiere (Meduſen, Salpen, Beroen, Phyſalien, Phyſſophoren, Rizophyſen ꝛc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, beſonders wenn dieſes durch Reibung und Wärme begünſtiget wird.

130. Das Meerwaſſer hat einen bitteren und ſalzigen Geſchmack, und bekommt leicht, wenn es in Ruhe ſteht, einen üblen Geruch; erſterer kommt von den in demſelben aufgelöſten Salzen her. Nach Vogel's Analyſe enthalten 1000 Gr. Meerwaſſer:

Aus dem	Kohlenſ. Gas.	Salzſaure Bittererde	Gips	Kohlenſaure Kalk u. Bittererde	Bitterſalz	Kochſalz
Canale 36° Br.	0.23	3.50	0.15	0.20	5.78	25.10
atlant. Meer 38° „	0.23	3.60	0.15	0.20	5.78	25.10
mittell. Meer 41° „	0.11	3.25	0.15	0.15	6.25	25.10

Dieſe Beſtandtheile ſind in dem Meerwaſſer der heißen Zone wegen der häufigen Ausdünſtung und in der kalten wegen dem Gefrieren des reinen Waſſers in größerer Menge vorhanden, als in den Gegenden des gemäßigten Erdgürtels, und ſind die Urſache des größeren ſpecifiſchen Gewichtes des Meerwaſſers, das im Durchſchnitte mit 1.03 angegeben wird. Nach Fyfe enthält das Meer in der ſüdlichen Halbkugel mehr Salz als in der nördlichen im Verhältniſſe 1.02929 : 1.02757. An Stellen, wo das Meer tiefer iſt und welche von den Küſten entfernter ſind, iſt auch das Waſſer ſalzreicher, doch ſcheint der Salzgehalt weder von der Tiefe noch von der geographiſchen Länge abzuhängen; Meerbuſen, die mit dem

großen Oceane nur durch ſchmale Canäle zuſammenhängen, ſind ärmer an Salz als der weite Ocean, das mittelländiſche Meer iſt allein der ſtärkeren Verdünſtung wegen daran reicher. Große, ſich ins Meer ergießende Ströme, vermindern die Salzigkeit desſelben und äußern dieſen ihren Einfluß oft meilenweit von der Mündung. — Der Salzgehalt des Meeres, zu deſſen Erklärung viele zum Theile ſehr ſonderbare Hypotheſen aufgeſtellt worden ſind, kommt demſelben ohne Zweifel urſprünglich zu und die Sazlager, welche man auf dem Continente ſo reichlich antrifft, ſind demnach Sedimente des Meeres, das einſt dieſe Gegenden bedeckte. Damit ſtimmt der Umſtand vollkommen überein, daß ſich bei Salzlagern auch Überreſte von Seethieren und Seepflanzen finden. In dem berühmteſten aller Salzlager bei Wieliczka ſieht man deutlich, wie das Salz den Lauf der Karpathen verfolgt und da, wo es an die Berge grenzt, mit einer ſolchen Biegung aufhört, wie ſie beim Wellenſchlage nothwendig entſtehen mußte, auch findet ſich unter den dortigen Salzgattungen eine etwas bitter ſchmeckende.

131. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von ſeiner Schwere abhängende, fortſchreitende Bewegung hat, ſo gibt es doch mannigfaltige Bewegungen ſeiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung ſind. Dahin gehören: die Ebbe und Fluth, beſtändige, periodiſche und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenſchlag.

132. Unter Ebbe und Fluth verſteht man das periodiſche Abnehmen und Anſchwellen des Waſſers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und dieſe wechſelt nach einer gleichen Zwiſchenzeit wieder mit der Fluth; doch verſpätet ſich die periodiſche Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr ſo viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zuſammenfällt. In offener See ſchwillt das Waſſer von Oſten her an und läuft gegen Weſten wieder ab, an den Küſten wird aber ſowohl die Richtung als die Geſchwindigkeit und Größe des Zu- und Abſtrömens durch die beſondere Lage und die Krümmungen der Küſten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüſſe und durch Winde bedeutend modificirt. Zwiſchen den Orkney- und den ſchetländiſchen Inſeln fließt das Waſſer von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisſtraße kommt es von S. und fließt nach N. ab; die mittlere Geſchwindigkeit des Zu- und Abfluſſes wird in offener See zu 2 F.

angenommen, an den Küſten fällt ſie oft ſo klein aus, daß auf einen Tag ſtatt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieſes bei Weſtindien der Fall iſt, auch erfolgt der Zufluß und Abfluß nicht allenthalben mit derſelben Geſchwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Waſſer einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lange zu und nur 3 St. lang ab, bei Vera Cruz dauert der Zufluß und Abfluß gar 24 St. und es herrſcht daſelbſt während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe. Die Höhe der Fluth iſt nicht immer dieſelbe, ſondern unterliegt bedeutenden Veränderungen und dieſe ſtehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphaſen und mit der Entfernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachſen ſie und gegen die Zeit der Viertel nehmen ſie wieder ab, doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erſt $1\frac{1}{2}$ Tag nach dem Voll- oder Neumonde ein und auch die kleinſten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beſchleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Oppoſition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derſelbe von der Quadratur der Conjunction und Oppoſition entgegengeht. Selbſt die Springfluthen ſind periodiſchen Ungleichheiten unterworfen; ſie ſind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwende am kleinſten, doch ſind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens ſtärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie ſich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachſen die Fluthen ſo, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zuſammentrifft. — Beim Ausfluſſe der Elbe beträgt der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Waſſerſtande 10—12 F., bei den canariſchen Inſeln ſteigen die Springfluthen auf 7—8 F., an den portugieſiſchen und ſpaniſchen Küſten auf 12 F., in der Bai von Biscaya auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherburg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüſſe hinein und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

133. Man leitet heut zu Tage allgemeine Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab, und rechtfertiget dieſes durch genaue Berechnung dieſer Phänomene aus

der Gravitation. Dieſe Berechnung beruht auf Folgendem. Es ſey *C* (Fig. 343) der Mittelpunct der Erde, dieſelbe ſey ringsum von Waſſer bedeckt und dieſes habe in jenem Gleichgewichtszuſtande, in welchen es blos durch die irdiſche Schwere verſetzt wird, die Geſtalt *acbd*. Iſt *A* ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt und ſeine Entfernung von derſelben von ſolcher Größe, daß gegen ſie der Erdhalbmeſſer nicht verſchwindet und daher die Theile in *a*, *c*, *b*, *d*, *C* eine verſchiedene Anziehung erleiden; ſo kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter beſtehen und die Flüſſigkeit wird eine andere Geſtalt annehmen müſſen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da *a* mehr gegen *A* hin gezogen wird als *C*, letzteres hingegen mehr als *b*, ſo wird ſich dem Körper *A* die Oberfläche des Waſſers in *a* mehr, in *b* aber weniger nähern als der feſte Theil der Erde, deſſen Annäherung an *A* jener ſeines Mittelpunctes gleich iſt, und das Waſſer nimmt demnach die Geſtalt $\alpha\beta\gamma\delta$ an. Es käme das Waſſer ins Gleichgewicht, wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper *A* keine Bewegung hätte. Vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers *A* um dieſelbe bleibt das Waſſer in ſteter Bewegung, es ſtrömt fortwährend von *c* und *d* nach *a* und *b* hin, aber die Stellen *a* und *b* rücken ſelbſt um die ganze Erde herum. Iſt nun *A* der Mond, ſo begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derſelben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weiſe wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner ſeyn, ungeachtet ihre Anziehung größer iſt, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde ſo groß iſt, daß ſie die Puncte *a*, *b*, *c*, *d* und *C* faſt gleich ſtark anzieht. Fällt die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zuſammen, ſo geht daraus eine Springfluth hervor, fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, ſo reſultirt daraus eine Nippfluth. Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Waſſer bedeckt angenommen. Wenn auch dieſes in der Wirklichkeit nicht Statt findet, ſo wird dadurch im Weſen der Theorie doch nichts geändert, ſondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieſer wichtigen Erſcheinung findet man in *La Place mécanique céleste*, *tom. II. p.* 63 *et s. tom. V. p.* 145, und in Schmidt's Handbuch der math. u. phyſ. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532.)

135. Die Strömungen ſind vorzüglich für die Schifffahrt von großer Wichtigkeit und werden darum von den Seefahrern fleißig

beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrſchenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verſchiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwaſſers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareiſes, von der ungleichen Ausdünſtung, von Ungleichheiten des Bodens und endlich von der durch einſtrömende Flüſſe mitgetheilten Geſchwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen iſt der Äquatorialſtrom (von den Holländern Dienung genannt) der wichtigſte; er herrſcht zwiſchen den Wendekreiſen, ja ſelbſt bis zum 28. Grad n. B. und fließt mit einer mittleren Geſchwindigkeit von 9—10 Meilen in 24 St. im Allgemeinen von Oſt nach Weſt, aber durch den Widerſtand der Küſten erhält er oft eine andere Richtung. Ein anderer wichtiger, beſtändiger Strom iſt der Golphſtrom. Dieſer entſteht durch den Äquatorialſtrom im mexicaniſchen Meerbuſen, geht anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöſtlich und dann öſtlich und wird dabei immer breiter und langſamer. (Öſtlich von Boſton iſt er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit, und hat eine Geſchwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45°—50° n. B. theilt er ſich in zwei Arme, wovon einer ſüdlich geht und unter Madeira wieder zu ſeinem Urſprunge zurückkehrt, der andere aber in nordöſtlicher Richtung gegen die Küſten von Europa zieht, an den norwegiſchen und irländiſchen Küſten gleichſam reflectirt wird, nach Weſt zurückkehrt und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisſtraße kommenden Strome vereint gegen die Oſtküſte Grönlands zugeht. Man erkennt ſein Daſeyn leicht aus der höheren Temperatur und aus der blauen Farbe ſeines Waſſers und dem häufigen Tange, den er mit ſich führt. — Es gibt noch viele andere beſtändige Ströme, aber ſie ſind noch nicht ſo genau unterſucht, wie die vorhergehenden. Ein ſolcher geht vom baltiſchen Meere ins deutſche, vom ſchwarzen Meere in den Bosphorus und ſeitwärts wieder zurück ꝛc. Auch viele periodiſche Strömungen ſind bekannt. Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Waſſer um das Cap Horn und Feuerland vom ſtillen in den atlantiſchen Ocean. Im indiſchen und chineſiſchen Meere gibt es mehrere periodiſche Strömungen. Vom October bis Mai ſtrömt das Waſſer in das rothe Meer und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chineſiſchen Meere herrſcht von Mitte Mai bis Mitte Auguſt ein nordöſtlicher und von Mitte Auguſt bis Mitte Mai ein ſüdweſtlicher Strom. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und durch

den Wechſel des Waſſerreichthums einmündender Flüſſe erzeugt werden. — Stoßen ſtarke Ströme in entgegengeſetzten Richtungen auf einander, ſo entſtehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerſtand des Waſſers an Felſen, auch durch Reflexion desſelben bedeutend verſtärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr ſo fürchterlich ſind als ehmals. Solche Wirbel ſind die ſogenannten Scylla und Charibdis, der Mahl- oder Moskeſtrom an der norwegiſchen Küſte, der chalcidiſche Strudel zwiſchen Euböa und Attika, mehrere Wirbel im indiſchen Meere, bei Japan ꝛc. ꝛc.

135. Durch den Stoß des Windes entſtehen die Wellen. Bläſt der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Waſſers parallel, ſo kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er ſie aber ſchief, ſo wirkt er, wie ein in das Waſſer geworfener Körper. Aus 1. 292 u. f. iſt klar, nach welchen Geſetzen alles vor ſich geht. — Die Höhe und Breite der Wellen richtet ſich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge ſeiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Waſſers, daher man auch letztere aus dem Wellenſchlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 Fuß; ſie iſt in der Nordſee größer als in der Oſtſee und im mittelländiſchen Meere; im atlantiſchen Oceane ſind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenſchlag iſt nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege ſtehen, an Felſen entſtehen die ſogenannten Brechen (reflectirte Wellen) und an Ufern die Brandungen. (Syſtem einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von Otto. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Feſtes Land.

136. Das feſte Land erhebt ſich in verſchiedener Höhe über das Meer und ſteigt in der Regel deſto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt iſt. Der Verticalabſtand der größten Höhe von der kleinſten iſt nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchſten Berges über die Meeresfläche, ſo erhält man für jenen Abſtand etwa 6000 Klafter und dieſe machen den 573ten Theil des Erdhalbmeſſers. Demnach ſind

ſelbſt die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verſchwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe Berge oder Hügel und die tieferen Stellen zwiſchen Erhöhungen werden Thäler genannt. Die Berge hängen meiſtens reihenweiſe zuſammen und bilden große Maſſen (Gebirgsketten), die über den benachbarten Boden hervorragen und an verſchiedenen Puncten noch höher aufſteigende Gipfel als beſondere Berge darſtellen, doch gibt es auch viele einzeln ſtehende Berge. Die allgemeinſte Form einer Gebirgskette iſt die eines dreiſeitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach, und wovon die obere Kante das Joch, die Seitenflächen die Abfälle und die unteren Theile des Abfalls den Fuß derſelben ausmachen. — Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten ſich vereinen, bilden die Knoten des Gebirgsſyſtems, und von da aus werden ſie durch große Thäler von einander getrennt, die man Hauptthäler (Längenthäler) nennt.

137. Die Höhe eines Berges kann im zweifachen Sinne genommen werden, entweder verſteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels von ſeinem Fuße oder die Erhöhung desſelben über die Meeresfläche. Im letzteren Falle denkt man ſich eine Linie vom Mittelpuncte der Erde bis zum Gipfel eines Berges und eine andere bis zur Meeresfläche in derſelben geographiſchen Breite mit dem Berge gezogen. Der Unterſchied dieſer zwei Linien gibt die Höhe des Berges in der zuletzt genannten Bedeutung. Dieſe Höhe iſt von der erſteren ſehr verſchieden, weil der Fuß eines Berges ſelbſt oft ſchon auf einer bedeutenden Anhöhe ſteht. Man beſtimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivelliren oder durch trigonometriſches Ausmeſſen, oder mittelſt der am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Barometerhöhe. Das erſtere Verfahren iſt mühſam und oft gar nicht ausführbar und gibt ſelbſt im günſtigſten Falle nur die Erhöhung des Berges über ſeinen Fuß; letzteres gilt auch von der zweiten, die überdieß auch noch durch die irdiſche Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenſtände vergrößert, unſicher gemacht wird, wenn man nicht zugleich die Meſſungen ſo einrichtet, daß man daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erfährt, die dritte iſt am leichteſten ausführbar und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorſicht vernachläſſiget. Sie beruht auf Folgen=

dem: Iſt P der Luftdruck an der Baſis eines Berges, P' der Luftdruck in einer um eine Längeneinheit höheren Station und ſetzt man $\frac{P'}{P} = Q$, ſo wird der Luftdruck M in einer um m Einheiten über die Baſis erhöhten Station durch PQ^m und der Luftdruck N in einer um n Einheiten erhöhten Station durch PQ^n ausgedrückt, und man hat:

$$Q^m = \frac{M}{P},\ Q^n = \frac{N}{P},\ m \log Q = \log \frac{M}{P},\ n \log Q = \log \frac{N}{P}$$

und aus beiden Gleichungen

$$m = n. \frac{\log P - \log M}{\log P - \log N}.$$

Denkt man ſich den Barometerſtand an der Baſis = 28 P. Z. = 336 L. und die zweite Station um 0.10467 F. höher, ſo muß in dieſer der Barometerſtand um 0.00001 F. = 0.00144 L. tiefer ſtehen, weil das Queckſilber bei 28 P. Z. Luftdruck und einer Temperatur von 0° C 10467 mal dichter iſt als atmoſphäriſche Luft. Man hat daher $P = 336$, $N = 336 - 0.00144 = 335.99856$, $n = 0.10467$ und weil $\log P - \log N = 0.0000018585$ iſt,

$$m = 56320\ (\log P - \log M).$$

Heißt in einer anderen Station der auf 0° C reducirte Barometerſtand M'; ſo erhält man die Höhe m' derſelben durch die Formel

$$m' = 56320\ (\log P - \log M')$$

und aus beiden den Höhenunterſchied beider Stationen:

$$m' - m = 56320\ (\log M - \log M').$$

Dieſe Formel gilt aber nur für die Temperatur = 0° C und für ganz trockene Luft, ja ſie ſetzt ſogar voraus, daß die Schwere auf die obere und untere Luftſchichte gleich ſtark und in beiden ſo wirke, wie in einer Breite von 45°. Alle dieſe Puncte trifft man aber nie in der Wirklichkeit ſo an, wie es hier verlangt wird; daher muß man obige Formel ſo einrichten, daß ſie auf jeden vorkommenden Fall paßt. Der numeriſche Coefficient dieſer Formel ändert ſich mit der Wärme, weil dadurch auch das Verhältniß zwiſchen der Dichte des Queckſilbers und der Luft verändert wird. Man kann füglich annehmen, der Coefficient ſey der Temperatur proportionirt und gehe dann für die Temperatur τ in 56320 $(1 + 0.00375.\tau)$ über. Der Werth von τ iſt die mittlere Temperatur beider Stationen, als welche man gewöhnlich die halbe Summe der Temperaturen beider Sta-

tionen annimmt. Iſt demnach die Temperatur der Luft in der unteren Station t, in der oberen t'; ſo hat man:

$$m' - m = 56320\,(1 + 0.00375 . \frac{t+t'}{2})\,(\log M - \log M').$$

Die Correction für die in der Luft enthaltenen Dünſte bezieht ſich auf zwei Puncte, 1) auf die Änderung des Luftdruckes durch den Zutritt der Dünſte, 2) auf die Änderung der Ausdehnungsgröße trockener Luft durch die Wärme, welche durch Beimengung der Dünſte eintritt. Heißt die Spannkraft der Dünſte in der unteren Station e, in der oberen e'; ſo verhält ſich der Druck von Seite der Dünſte zum Druck von Seite der Luft in der unteren Station nahe wie $\frac{10}{16}\,e : M$, in der oberen wie $\frac{10}{16}\,e' : M'$, falls die Dünſte wie die Luft nach Oben zu an Dichte abnehmen; allein da nach Anderſon die Dünſte viermal ſchneller abnehmen als die Luft, ſo hat man nur die Verhältniſſe nahe wie $\frac{1}{6}\,e : M$ und $\frac{1}{6}\,e' : M'$. Daher iſt der Druck der trockenen Luft in der unteren Station $M - \frac{e}{6}$, in der oberen $M' - \frac{e'}{6}$. Das Volumen trockener Luft ändert ſich durch Beimengung von Dünſten in der unteren Station in dem Verhältniſſe $1 + \frac{e}{M-e} : 1$, in der oberen wie $1 + \frac{e'}{M'-e'} : 1$. Setzt man nun für e oder e' die mittlere Spannkraft der Dünſte $\frac{e+e'}{2}$ und für M die mittlere Barometerhöhe $\frac{M+M'}{2}$; ſo hat man eine Änderung des Luftvolumens und daher auch des ſpecifiſchen Gewichtes in dem Verhältniſſe $1 + \frac{(e+e')}{M+M'-(e+e')} : 1$.

Werden dieſe Correctionen in obiger Formel angebracht, ſo wird.

$$m' - m = 56320\left(1 + 0.00375 . \frac{t+t'}{2}\right)$$
$$\left(1 + \frac{e+e'}{M+M'-(e+e')}\right)\left(\log\,(M - \frac{e}{6}) - \log\,(M' - \frac{e'}{6})\right)$$

Die Correctionen wegen der Abnahme der Schwere nach Oben laſſen ſich am einfachſten dadurch anbringen, daß man ein- für alle-

mal den Coefficienten 56320 um 150 Einheiten vergrößert. Die Correction, wodurch die Formel für jede geographiſche Breite φ brauchbar wird, verrichtet man mittelſt des Factors $1 + 0.002837 \cos\varphi$. Auf dieſe Weiſe erhält man als allgemeine Formel, welche den Höhenunterſchied zweier Stationen in P. F. angibt:

$$m' - m = 56470 \left(1 + 0.00375 \cdot \frac{t + t'}{2}\right)$$
$$\left(1 + \frac{e + e'}{M + M' - (e + e')}\right) \left(\log\left(M - \frac{e}{6}\right) - \log\left(M' - \frac{e'}{6}\right)\right)$$
$$\left(1 + 0.002837 \cos\varphi\right)$$

Für Fälle, wo keine gar große Schärfe verlangt wird, reicht die Formel aus

$$m - m' = 56470 \left(1 + 0.002 . (t + t')\right) \left(\log M' - \log M\right)$$

Soll die Formel die Höhenunterſchiede in Wiener Fußmaß angeben, ſo muß man ſtatt obigen Factors 56470 ſetzen 57992. Wenn die Stationen, deren Höhenunterſchied man ſucht, nicht gar weit von einander entfernt ſind, ſo kann man dieſen Unterſchied nach den gleichzeitigen Barometerhöhen in beiden berechnen; iſt aber ihre Entfernung groß, ſo muß man für M' und M die aus vielen Beobachtungen genommenen mittleren Höhen ſetzen. Im erſten Falle iſt weder die Tageszeit noch der Zuſtand der Atmoſphäre, bei denen man die Beobachtung macht, gleichgültig.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen habe ich folgende Tafel berechnet und den Gebrauch derſelben in Kürze beigeſetzt: *B* bezeichnet den auf 0° *C* reducirten Barometerſtand, *H* die Höhe. *D* die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht ſich auf Wienermaß.

B.	*H.*	*D.*	*B.*	*H.*	*D.*
301 L.	84 F.	8.3	311 L.	907 F.	8.1
302	168	8.3	312	988	8.0
303	250	8.3	313	1068	8.1
304	333	8.3	314	1149	8.0
305	416	8.3	315	1229	8.0
306	499	8.3	316	1309	7.9
307	581	8.2	317	1388	8.0
308	663	8.2	318	1468	7.9
309	745	8.1	319	1547	7.9
310	826	8.1	320	1626	7.8

B.	H.	D.	B.	H.	D.
321 L.	1704 F.	7.9	331 L.	2477 F.	7.6
322	1738	7.7	332	2553	7.5
323	1860	7.8	333	2628	7.6
324	1938	7.8	334	2704	7.5
325	2016	7.7	335	2779	7.6
326	2093	7.8	336	2855	7.5
327	2171	7.6	337	2930	7.4
328	2247	7.7	338	3004	7.4
329	2324	7.6	339	3078	7.4
330	2400	7.7	340	3152	7.4

Beim Gebrauche nehme man aus der Columne *H* die Zahl, welche den Barometerſtand *B* in der erſten Station, nach Hinweglaſſung der Bruchtheile einer Linie, bezeichnet, hierauf multiplicire man die weggelaſſenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne *D*, welche dem Barometerſtande entſpricht, und addire dieſes Product zu erſterer Zahl, thue hierauf dasſelbe für den Barometerſtand der zweiten Station; ſo erhält man durch die Differenz der zwei ſo gefundenen Zahlen die verlangte Höhe $= A$. Um dieſe für die Luftwärme in beiden Stationen zu corrigiren, multiplicire man den tauſendſten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe der Temperaturen beider Stationen und gebe das Product mit ſeinem Zeichen zu *A*. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botaniſchen Garten in Wien und am Leopoldsberge bei Wien angeſtellten Beobachtungen ergab ſich die auf 0° *C* reducirte Barometerhöhe in Wien = 339.1 L. und die am Leopoldsberge = 330.5.

Der Zahl 339 entſprechen in der Tabelle . . .	3078
0.1	7
mithin 339.1	3085
Eben ſo entſprechen der Zahl 330 in der Tabelle . .	2400
0.5	38
mithin 330.5	2438
und daher der Höhenunterſchied 3085 — 2438 =	647

Die Temperatur in Wien war 14.40, die am Kahlenberge 14.42, mithin die doppelte Summe 57.64 und $57.64 \times 0.647 = 37.4$ und daher die geſuchte Höhe $647 + 37 = 684$ F.

138. Das Joch einer Gebirgskette iſt ſelten ſo ſchmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiſeitigen Prisma anzuzeigen ſcheint. Es gibt wohl beſonders in Deutſchland einige Puncte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauſes hat, wie z. B. am Brenner in Tyrol, wo das Dachwaſſer eines Hauſes von einer Seite dem adriatiſchen, von der anderen dem ſchwarzen Meere zu

fließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergiſchen, wo von einem Hauſe ſich das Regenwaſſer zum Theil in den Neckar, und mithin in die Nordſee, zum Theil in die Donau und dadurch ins ſchwarze Meer ergießt. In den franzöſiſchen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8—12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt dieſe Gegenden Landhöhen oder Landrücken. — Die berühmteſten Landhöhen befinden ſich in Amerika nämlich die von Titicaca und Antiſana (2050—2155 W. K. hoch), von Quito und Caxamarca (1530 Kl.) von Bogota (1407 Kl.) und Mexico (1199 Kl.). Aſien hat, ſo weit man es kennt, nur zwiſchen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die ſich den amerikaniſchen zur Seite ſtellen laſſen. Die perſiſche Landhöhe hat nur 667 W. Kl. Afrika iſt uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abeſſinien iſt wohl unter allen das bekannteſte und auch nach allen Nachrichten ſo hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am erſten an die Seite geſtellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweiſen, welches ſich mit denen der übrigen Welttheile meſſen könnte. Das ſchwäbiſche Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwiſchen den Alpen und dem Jura 267—277 Kl. und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbſt das Hoſpiz auf dem großen Bernhard, der höchſte bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

139. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieſelbe Richtung, ſondern es wendet und biegt ſich nach verſchiedenen Gegenden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Geſtalt eines Landes ab, das ſich über das Meer erhebt. In Amerika lauft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord und das Land hat auch in dieſer Richtung die größte Ausdehnung. In Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Weſtküſte und ein anderes an der Oſtküſte von Nordoſt nach Südweſt und davon hängt die dreieckige Geſtalt des Landes ab; dasſelbe findet in Südamerika Statt, wo nebſt dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordoſt nach Südweſt hinzieht. In Aſien ziehen die größten Gebirge von Oſt nach Weſt durch das Land und dieſer Welttheil iſt auch in dieſer Richtung am ausgedehnteſten; Indien erhält ſeine dreieckige Geſtalt wie Nord- und Südamerika durch beſondere Bergketten; Afrika erhält ſeine Geſtalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa

erſtrecken ſich die größten Gebirge von Nordoſt nach Südweſt und in dieſer Richtung iſt dieſer Welttheil auch am ausgedehnteſten. — Die Höhe des Joches iſt in derſelben Gebirgskette verſchieden. Iſt die Kette ſelbſtſtändig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, ſo liegt ihre größte Höhe in der Mitte; iſt ſie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsſtammes, ſo hat ſie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächſten iſt, und verflächt ſich immer mehr.

140. Beträchtliche und ſchnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden Päſſe, welche als Vereinigungspuncte zweier getrennter Länder angeſehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende abſolute Höhe haben. Auf dieſe Weiſe verbinden die Päſſe über den Brenner und St. Gotthard das weſtliche Deutſchland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m. Oft werden Gebirgszüge von Flüſſen durchbrochen, wie dieſes z. B. die Elbe bei Königſtein, der Rhein zwiſchen Mainz und Kölln thut. Daher folgt auch die Waſſerſcheide nicht den Gebirgszügen.

141. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette beſteht aus einer großen Anzahl beſonderer Abfälle, die man erſteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen dieſen zuſammengeſetzte Neigung der Seitenflächen wechſelt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von 2° — 6°, der ſüdliche Abfall der Alpen von den höchſten Puncten an beträgt nur $3\frac{3}{4}$°. Allein es ſcheint eine allgemeine Regel zu ſeyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich ſind und daß immer einer kürzer und ſteiler als der andere iſt. Die Pyrenäen, Alpen und Karpathen haben den ſtärkſten Abfall gegen Süden, das Erzgebirge, die Sevennen, Vogeſen und der Jura gegen Oſten, die Anden in Amerika ſind gegen Weſten am ſteilſten. Man kann es als Regel anſehen, daß die Gebirge immer dort den ſteilſten Abhang haben, wo ſie ein Becken einſchließen, es mag dieſes nun feſtes Land ſeyn, oder Waſſer enthalten. So ſind alle Gebirge, welche Böhmen umgeben, gegen dieſes Land hin am ſteilſten, der Schwarzwald und die Vogeſen ſind gegen das Rheinthal am ſteilſten; die Berge, welche den Genferſee einſchließen, kehren ihm den kürzeſten Abhang zu, ja ſelbſt bei kleineren Becken findet dieſes Statt. So iſt der Traunſtein an der Seite des Traunſees, der Watzmann an der Seite des Königsſees am ſchroffſten.

142. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen ſenk-

recht auf ihrer Länge tiefe Einſchnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterſchieden werden müſſen und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabſteigende Rinnen formiren. Dieſe Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von denen alles das gilt, was von der Hauptkette geſagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, ſondern hält ſich oft lange in einer bedeutenden Höhe, und ſenkt ſich dann plötzlich; ſie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erſtrecken ſie ſich bis zum Meere und endigen ſich da ſchnell, ſo nennt man ſie ein Cap oder Vorgebirge.

143. Den Gebirgsgegenden ſtehen die ſogenannten Wüſten ſowohl in Hinſicht ihrer phyſiſchen Beſchaffenheit, als auch durch die Rolle, die ſie in der Geſchichte der Erde ſpielen, gerade gegenüber. Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, ſo ermüden es dieſe durch eine eben ſo große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsſtätte der Quellen und Flüſſe ſind, die gewürzreichſten und kräftigſten Pflanzen nähren und unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen und von ihren höheren Puncten das herrlichſte Panorama darſtellen; ſo ſind dieſe waſſerarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meiſtens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt und gewähren dem Wanderer das ſchauerliche Bild einer todten Welt. — Wiewohl die Wüſten in der Regel allenthalben, wo ſie vorkommen, denſelben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünſtigen Ebene behalten; ſo werden ſie doch im Einzelnen durch die Beſchaffenheit des Bodens, durch das Clima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher beſtimmt. — Die Wüſten von Aſien und Afrika ſind eigentliche Sandmeere und beſtehen aus unermeßlichen Strecken, die mit Flugſand oder mit großen Kieſelſtücken überſäet ſind. Sie laſſen ſich vom Cap Bojador an bis jenſeits des Indus in einer Strecke von 1400 geographiſchen Meilen verfolgen. Die größte iſt die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwiſchen dem 15. und 31. G. n. B. durchſetzt und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr ſpricht ſich der Charakter einer Sandwüſte am ſchrecklichſten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet ſich daſelbſt, und nur ſelten ſtoßt man

auf künſtliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand geſteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, und die häufig wieder verſchüttet oder von Inſectenſchwärmen erfüllt ſind. Die Luft iſt wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinſten Sande überladen, von keinem Regen erfriſcht und von keinem Vogel beſucht. Nur wenige Orte dieſes grauenvollen Meeres ragen, wie Inſeln, mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; ſie werden Oaſen genannt. Eine andere große Wüſte Afrika's iſt die Lybiſche, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenſeits der Landenge von Suez fängt die Wüſte Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat iſt die öſtliche Grenze der arabiſchen und ſyriſchen Wüſte. Perſien wird vom caſpiſchen Meere an bis zum indiſchen von ungeheuren Sandmeeren durchſchnitten, unter denen die an Salz reichen Wüſten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptſächlichſten ſind. Nach Humboldt beträgt der Erdſtrich, den dieſe Sandwüſten einnehmen, die Oaſen abgerechnet, gegen 112000 geogr. Q. Meilen.

144. Die Urſache der Abweſenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüſten iſt der Mangel an Waſſer, der durch das Clima und die Lage hervorgebracht iſt und die Armuth an Vegetation ſelbſt wieder bedingt. Dieſes zeigen die Oaſen dieſer Wüſten und der Umſtand, daß ſelbſt dort, wo das Clima kälter iſt, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beſchaffenheit des Bodens alles Waſſer abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüſte darſtellt, wie dieſes bei der aſiatiſchen Wüſte Cobi zum Theile der Fall iſt. Dieſe bedeckt nämlich einen großen Theil der großen Gebirgsebene Aſiens und hat am weſtlichen Theil in einer nördlichen Breite von 35—45° große Strecken, die mit Flugſand bedeckt ſind. Der Einfluß des Waſſers zeigt ſich vorzüglich an den ſogenannten Llanos in Amerika, an der Wüſte Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Clima gewiß Sandwüſten wären, nun aber in die Reihe der ſogenannten Steppen gerechnet werden dürfen. Die Karao hat ungefähr 1000 g. Q. Meilen, liegt zwiſchen hohen Bergen und iſt ſelbſt von nicht unbedeutenden Thonſchiefergebirgen durchzogen, ſtellt aber doch auch Ebenen von 30—40 Q. Meilen dar. Ihr Boden beſteht auch aus Thon und Sand. Dieſer wird während des Sommers ſo ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz

ausgedörrt iſt und die Vegetation verliert, während er an anderen, waſſerreichen mit dem ſchönſten Pflanzenſchmucke prangt. So bald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, ſo erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauſpiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdſtriche, beſitzen aber ein mehr feuchtes Clima und erſcheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer anderen Geſtalt. Wenn im Sommer unter dem ſenkrechten Strahle der Sonne die Pflanzendecke abgebrannt und der Boden ausgetrocknet iſt und ſelbſt der ſonſt kühlende Oſtwind neue Hitze bringt; ſo wetteifern ſie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; ſobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht ſich der ganze Boden mit den mannigfaltigſten Gräſern.

145. Die Steppen gleichen durch ihren Mangel an abwechſelnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüſten, unterſcheiden ſich aber von ihnen dadurch, daß ſie den Sommer hindurch mit Pflanzen beſetzt ſind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigſtens den Schein einer Wüſte tilgen. Solcher Steppen gibt es beſonders in Aſien viele. Sie erſtrecken ſich von der chineſiſchen Mauer bis zum Aralſee, faſt ununterbrochen 1000 g. Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Aſtrachan liegenden und diejenigen, welche ſich zwiſchen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur ſogenannten beßarabiſchen Wüſte hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet ſich in Amerika. Sie zieht von der Küſtengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana und beträgt nach Humboldt 14000 Quadratmeilen.

146. Es haben ſich mehrere ausgezeichnete Gelehrte bemüht, alle Höhenzüge der Erde als Verzweigungen eines gemeinſchaftlichen Hauptſtammes darzuſtellen. Sie nehmen z. B. den Hauptgebirgsſtamm in Aſien an, laſſen ihn durch die Mitte dieſes Welttheiles hinziehen, Äſte nach Sibirien und Indien abſenden, mit dem Stamme aber nach Europa fortlaufen und einen Zweig nach Afrika ſenden, der dieſen Welttheil durchſetzt, ununterbrochen durch das Meer fortlauft, den Antilliſchen Archipelagus und den Continent von Mexico bildet und nach Nord- und Südamerika Zweige auslaufen läßt. Es ſcheint aber zu einer genauen Durchführung dieſer Hypotheſe eine genauere Kenntniß der Gebirgszüge nothwendig zu ſeyn, als man gegenwärtig beſitzt, wo man ganze Welttheile, wie Afrika, in

dieſer Beziehung ſo gut wie gar nicht kennt, ja ſelbſt bei dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe iſt man oft, um einen Zuſammenhang aller Gebirge aufbringen zu können, gezwungen, einen Gebirgszug als Fortſetzung eines anderen, von jenem durch weite Ebenen getrennten anzuſehen. Man thut daher wohl beſſer und bleibt den directen Angaben der Erfahrung getreuer, in jedem Welttheile mehrere Bergſyſteme anzunehmen, wovon jedes ein für ſich beſtehendes Ganzes ausmacht; doch kann ſich auch eines an das andere förmlich anſchließen.

147. Aſien hat mehrere merkwürdige Bergſyſteme: Das Bergſyſtem des Ural oder das Pojaſſowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucaſus, des Turus und Antitaurus, des Altai, Thianchan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caſpiſchen Meere unter 45° n. B. an, und geht von Südoſt nach Nordweſt bis ins Eismeer fort; die caucaſiſchen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwiſchen dem caſpiſchen und dem ſchwarzen Meere fort und erreichen mit dem Berge Caucaſus die größte Höhe, nämlich 2839 W. Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieſer Kette, beläuft ſich auf 1387 Kl. Das Syſtem des Altai im weiteren Sinne erſtreckt ſich von Oſt nach Weſt zwiſchen den Parallelen von 50—59° n. B., 160 Meilen tief in die Kirgiſenſteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergſyſtem von Thianchan, von Pallas Bokhdo genannt, iſt vom Altai gegen Oſten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, Khingkhan-Oola, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) ſeine größte Höhe, zieht öſtlich nach Barkoul, verflächt ſich da in die große Wüſte Cobi und erſtreckt ſich nördlich von Kaſchgar gegen Samarkand. Das Bergſyſtem des Kuenlun oder Kulkun beginnt im Weſten mit dem blauen oder Zwiebelgebirge (Thſungling) und zieht ſich gegen Oſten nach den Quellen des Hoangho hin. Das Syſtem des Himalaya trennt Kaſchmir, Nepal und Butan von Thibet und ſteigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größentheils von NW. gegen SO. und iſt mit dem Kuenlun durch Nebenketten verbunden.

148. Die Gebirgsſyſteme Afrika's ſind nur wenig bekannt. Unter 10° n. B. läuft ein Gebirge, die Mondberge genannt, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der

Nordweſtküſte der Atlas mit ſeinen Ausläufern. Eben ſo wenig kennen wir die Gebirgsſyſteme Auſtraliens.

149. Die europäiſchen Gebirgsſyſteme ſind aus einleuchtenden Gründen am beſten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's ſind die Alpen (weißen Berge). Sie dehnen ſich von 23°—35° der Länge und von 44°—48° n. B. aus und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft ſich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Päſſe auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsſtock iſt der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Er gehört zu den lepontiniſchen Alpen, welche die Schweiz von Piemont trennen und ſich vom Monte Roſa (2457 Kl.) bis zum Muſchelhorn (1608 Kl.) und Bernhard (1449 Kl.) erſtrecken. Vom Gotthard gehen vier Hauptgebirgszüge aus; einer geht weſtlich, theilt ſich an der Quelle der Maas und Marne in einen nordweſtlichen und in einen ſüdweſtlichen Arm, wovon erſterer nach England ꝛc., der andere nach Spanien führt, der zweite geht ſüdlich zu den Apenninen, der dritte ſüdöſtlich zu dem Balkan, der vierte nordöſtlich zu den Karpaten und dem Wolhonskoiwalde, von wo aus ſich wieder Zweige zum Ural und zu den finniſchen und norwegiſchen Gebirgen ziehen. Der weſtliche Gebirgszug bildet zuerſt die Berneralpen, die in der Jungfrau (2214 Kl.), dem Finſteraarhorn (2268 Kl.), dem Mönch (2170 Kl.), dem Ritzli (1735 Kl.) und dem Schreckhorn (2161 Kl.) ihre größte Höhe erreichen, bis zum Genferſee hinabſteigen und die Verbindung der Alpen mit dem Juragebirge, den Sevennen und Ardennen bewirken. Ein nach SW. laufender Zweig dieſes Aſtes der Alpen ſchließt ſich mit dem Mont Louis (663 Kl.) an die Pyrenäen, einem europäiſchen Hauptgebirge, an, die vom mittelländiſchen Meere zum biskayiſchen Meerbuſen fortlaufen und in dem Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Poſets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen und die pyrenäiſche Halbinſel mit Gebirgszügen verſehen, die im Albuzarras (1488 Kl.) und Cuntre de Mulhazem (1895 Kl.) am höchſten aufſteigen. Der in ſüdlicher Richtung vom St. Gotthard ausgehende Alpenzug bildet die penniniſchen Alpen, welche Piemont von Unter-Wallis ſcheiden und ſich vom Monte Roſa bis zum Bonhomme (1301 Kl.) erſtrecken. Ihre höchſten Gipfel ſind der Montblanc (2526 Kl.), die Aiguille d'Argentier, (2158 Kl.), Aiguille de Géant (2230 Kl.), der Dodeinanz (2150 Kl.), das Matterhorn (2369 Kl.), der Velan (1767 Kl.) Mit dem Bonhomme

beginnt der Zug der grauen Alpen, die Piemont von Savoyen trennen und ſich bis zum Mont Cenis (1891 Kl.) erſtrecken, mit welchem ſie auch ihre größte Höhe erreichen. Mit dieſem Berge beginnt der Zug der cottiſchen Alpen, die über den Mont Genevre (1070 Kl.) bis zur Quelle des Var fortziehen und Piemont von der Dauphiné trennen. Ihre höchſte Spitze bildet der Berg Viſo (2108 Kl.) mit der Quelle des Po. Von da an heißen die Alpen Seealpen; ſie trennen Frankreich von Italien. An dieſe ſchließen ſich die Apenninen an, welche in ſüdlicher Richtung Italien durchziehen, die Berge Velino (1346 Kl.), Sybilla (1203 Kl.), Gran Saſſo (1412 Kl.) bilden und in den Abruzzen am meiſten aufſteigen. Der Veſuv (631 Kl.) und der Aetna (1758 Kl.) gehören zu Ausläufern dieſes Gebirgszuges. Der ſüdöſtlich vom St. Gotthard ausgehende Zug führt den Namen der rhätiſchen Alpen und ſcheidet Deutſchland von Italien. Ein Hauptzug derſelben geht dem Inn entlang zur Quelle der Etſch und bildet die Tiroleralpen mit der Ortlerſpitze (2058.6 Kl.), dem Danzewelle (1657 Kl.), Fündlkopf (1262.6 Kl.), hohen Fürſt (1792.1 Kl.), Gilfertsberg (1317.79 Kl.), die Hatſcheroewand (1673.9 Kl.), dem Kaiſerjoch (1639 Kl.), Schweinferjoch (1973.3 Kl.), Similaunſpitz (1904 Kl.), Wildſpitzferner (1985.3 Kl).:c. Am Monte Pelegrino beginnen die Karniſchen Alpen und laufen bis zum Terglou (1506.1 Kl.) fort mit vielen Höhenpuncten, z. B. dem Großglockner (1998.5 Kl.), der Hafnernſpitz (1614.1 Kl), Hünerberg (1364.3 Kl.), Kreutzeck (1422.4 Kl.), Marehkahrſpitz (1485.6 Kl.), Petzeck (1727.1 Kl.), Sandkopf (1626.6 Kl.), Schwert (1630.3 Kl.), Sonnblick (1595.3 Kl.), Steinwandkahlr (1516.8 Kl.), Unholde (1410.2 Kl.), Wildhorn (1317 Kl.). Am Terglou beginnen die juliſchen Alpen mit dem Karſt. An dieſe ſchließen ſich die dinariſchen Alpen an, und laufen an den Küſten des adriatiſchen Meeres hin, erreichen im Mont Dinario (1197 Kl.) ihre höchſte Spitze, theilen ſich dann in mehrere Zweige, die bis zum ſchwarzen Meere und durch Griechenland zum mittelländiſchen Meere hinziehen und den Hämus (Balkan) mit den Bergen Orbelos (1539 Kl.), Lacha, den Olympus der Alten (1046 Kl.), Monte Santo, einſt Athos, bilden. Der in nordöſtlicher Richtung von St. Gotthard ausgehende Gebirgszug ſendet viele Nebenzweige aus, zu denen das Arlgebirge, der Schwarzwald mit der rauhen Alp, das Fichtelgebirge und das Harzgebirge mit dem Brocken (576 Kl.) gehören. Auch der Böhmerwald mit dem Dreiſeſſelberge (478 Kl.), das Erzgebirge und die Su=

deten mit der Rieſenkuppe (815 Kl.) und der Sturmhaube gehören hieher. Letztere hängen mit den mähriſchen Gebirgen zuſammen, die bis zur Quelle der Beczawa und Weichſel fortziehen und ſich dort an die Karpathen anſchließen. Dieſes Gebirge ſcheidet Gallizien von Ungarn und erreicht in der Lomnitzer= (1385 Kl.) und Käsmarkerſpitze (1363 Kl.) und dem großen Krywan (1286 Kl.) ſeinen höchſten Punct. Längs des nordöſtlichen Zuges dieſes Gebirges gelangt man zum Wolchonskoiwald, einer bedeutenden (400—500 Kl.) hohen Landebene mit Wäldern, Sümpfen und Moräſten. An einen nach Nord gehenden Aſt dieſes Gebirges ſchließen ſich die Kiölen an, die Schweden und Norwegen von einander ſcheiden, deren größte Höhen aber kaum 1000 Kl. erreichen.

150. Amerika hat bedeutende Gebirgsſyſteme. Das vorzüglichſte, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen ſind, ſind die Cordilleras de los Andes (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 2500 Meilen und einer Breite von 18—20 Meilen durchziehen Sie bilden die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpuncten, theilen ſich in Südamerika in parallel laufende Äſte und erreichen daſelbſt mit dem Chimboraço die größte Höhe (3445 Kl.). In Nordamerika theilen ſie ſich in viele Äſte, wovon ſich der längſte bis zum Cap Wallis erſtreckt und ſich an die von Aſien überſetzenden Gebirgszüge anſchließt.

151. Alles Bisherige bezieht ſich bloß auf das Äußere des feſten Landes; es bietet aber auch das Innere der Erde große Merkwürdigkeiten dar, indem wir daſelbſt Maſſen erblicken, die an chemiſcher Beſchaffenheit, Lagerung und Verbreitung ꝛc. von einander abweichen, in ihrem Schoße die edelſten Metalle und die herrlichſten Edelſteine enthalten. Aus ihnen kommt die erquickende Quelle und die verderbliche Lava und ihre Natur und Anordnung iſt der treueſte Zeuge der großen Veränderungen, welche die Erde erlitten hat. Unſere Kenntniſſe erſtrecken ſich zwar nur auf einen ſehr geringen Theil der Erdrinde und vom Innern der Erde haben wir gar keine Erfahrungskenntniß, aber das, was wir von der Erdrinde kennen, beweiſet hinlänglich, daß die mannigfaltigen Materialien, aus denen ſie beſteht, nach beſtimmten Geſetzen auf einander folgen und nicht ordnungslos unter einander gemengt ſind. Man kann füglich alle Gebirgsarten, welche die Erdrinde bilden, in zwei Claſſen bringen, in jene, welche organiſche Überreſte enthalten und

in ſolche, wo keine derlei Überreſte vorkommen. Jene ſind faſt immer geſchichtet und Mangel an Schichtung gehört zu den Ausnahmen, dieſe hingegen ſind in der Regel ungeſchichtet und nur als Ausnahmen kommen Schichtungen vor; jene ſind ohne Zweifel Abſätze (theils mechaniſche, theils chemiſche) aus Waſſer oder wie die Geognoſten ſagen, ſie ſind neptuniſchen Urſprungs, dieſe hingegen kann man mit eben ſo viel Grund als Producte der Erſtarrung erhitzter Maſſen, als plutoniſche Producte, anſehen. Die Gebirgsarten, welche organiſche Überreſte führen, werden von den Geognoſten in mehrere Unterabtheilungen gebracht. Die Anhänger der Werner'ſchen Schule, zu welcher die Deutſchen faſt ausſchließlich gehören, theilen ſie in aufgeſchwemmtes Land, in Flötz- und Übergangsgebirge und die Neueren derſelben unterſcheiden ſelbſt unter den Flötzgebirgen die jüngeren von den älteren und nennen jene Gebirge der tertiären, dieſe Gebirge der ſecundären Formation, ja gegenwärtig ſind einige ſogar geneigt, die jüngſten Flötzgebirge von den ſpäteren zu unterſcheiden und eine quaternäre Formation anzunehmen. Die Mehrzahl der engliſchen Gelehrten in dieſem Fache, die ſich überhaupt durch ihre raſtloſen Bemühungen und den glücklichen Erfolg derſelben ein wohlbegründetes Recht erworben haben, gehört zu werden, theilen die organiſchen Überreſte enthaltenden Gebirge in obere (*superior rocks*), übermittlere (*supermedial*), mittlere (*medial*) und untermittlere (*submedial*). Die letzteren entſprechen den Übergangsgebirgen der Deutſchen größtentheils, die oberen enthalten das aufgeſchwemmte Land und die Gebirge der tertiären Formation und die übrigen laſſen ſich in die anderen Formationen einreihen. — Die aufgeſchwemmten Gebirge bilden da, wo ſie vorkommen, die oberſte Lage der Erdrinde, ſteigen nicht hoch auf, beſtehen aus lauter Gerölle und Materien ohne feſte Conſiſtenz mit verſteinerten Knochen, Conchylien und Dammerde. Die tertiären Formationen liegen zunächſt unter den vorher betrachteten, beſtehen aus Sand, Thon und Mergel, Gips, weißgrauem Kalke von verſchiedener Conſiſtenz (Grobkalk), Mühlſtein, Nagelflue, mit Reſten von See- und Landthieren, Süßwaſſerproducten und Cotyledonen. Die ſecundären Formationen ſind einfacher in ihren Beſtandtheilen, beſtehen größtentheils aus Kalk und feinkörnigem Sandſtein, (Jurakalk, Alpenkalk, Zechſtein), Kreide, Steinkohlen und enthalten zahlreiche Überreſte von Pflanzen und Thieren. Da

Übergangsgebirge nimmt unter den Gebirgen mit organiſchen Reſten, da wo es mit denſelben zugleich vorkommt, den unterſten Platz ein, beſteht aus Grauwacke (grauem, feinkörnigen, feſten Sandſteine), farbigem Kalkſteine ꝛc. mit Abdrücken und Reſten von Thieren und Pflanzen niederer Organiſation z. B. Palmen, Ammoniten, Madreporen ꝛc.

152. Die Gebirgsarten der ſecundären, tertiären und neueſten (zum Theile auch der Übergangs-) Formation gehen nicht unmerklich in einander über, ſondern man bemerkt dabei immer eine plötzliche Umänderung in der phyſiſchen Natur des Geſteins und in der Beſchaffenheit der organiſchen Reſte. Das Geſetz ihrer Aufeinanderfolge ſpricht ſich am ſchönſten an einer Reihe aus, in die man alle hieher gehörigen einzelnen Formationen bringen kann und die ſo beſchaffen iſt, daß das in derſelben vorhergehende Geſtein immer über dem nachfolgenden in der Natur vorkommt, nie aber umgekehrt; doch folgt daraus nicht, daß überall alle in dieſer Reihe enthaltenen Formationen jeder Gegend eigen ſeyen, ſondern es können ein oder das andere Glied oder ſelbſt mehrere fehlen. Die Reihe iſt, wie ſie *De la Beche* (in ſeinem *Tabular and proportional view of the tertiary and secundary rocks*) darſtellt, in Kürze folgende:

Formation.	Charakter des Geſteins.	Charakter der org. Überreſte und der Foſſilien.
1. Angeſchwemmtes Land.	Ablagerungen von Flüſſen, Bächen, Seen, Gerölle, Sand, Lehm, wie ſie ſich noch jetzt bilden.	
2. Aufgeſchwemmtes Land.	Gerölle, Sand, Lehm, wie ſie ſich jetzt nicht mehr bilden.	Land- und Seeproducte. ***Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*.**
3. Obere Süßwaſſerformation.	Große Mannigfaltigkeit. Zerreiblicher Kalkmergel, poröſer und compacter, kieſeliger Mühlſtein; Hornſtein.	Süßwaſſer- und Landproducte.
4. Obere Salzwaſſerformation.	Kieſel- und Glimmerſand auf Thonmergel, mit Kieſelſandſtein überlagert, oben Brauneiſenſtein.	Seeproducte. Land- und Süßwaſſerproducte untergeordnet.

Formation.	Charakter des Geſteins.	Charakter der org. Überreſte und der Foſſilien.
5. Süßwaſſergipsformation.	Gipslager mit Mergel, auch vom Mergel überlagert, auf Kalkſtein und kieſelhaltigem Kalkſtein ruhend.	Land- und Süßwaſſerproducte.
6. Grobkalkformation.	Lichter grober Kalkſtein mit Thon- und Kalkmergel abwechſelnd, von Sandſtein überlagert, auf grünem Sande ruhend.	Seeproducte. Landpflanzen ſelten. Oben viele Cerithia, Unten *Cerithium giganteum.*
7. Töpferthonformation.	Sand, Lehm mit Kieſelſchichten abwechſelnd.	Land- Süßwaſſer- u. Salzwaſſerprod. Lignit mit Bernſtein.
8. Kreidenformation, a. obere.	Weicher Kalkſtein mit Feuerſteinen, gegen unten wird der Kalkſtein immer feſter, die Feuerſteine immer ſeltener.	Seeproducte, ſehr ſelten Landproducte.
b. untere.	Kalkſtein ohne Feuerſtein. Unten der Kalkſtein härter als oben, ſo daß er als Bauſtein verwendbar iſt, unten öfters grüne Erde und Quarzkörner.	Seeproducte. Landproducte höchſt ſelten. — *Catullus Cuv.*
9. Grünſandformation. a. Obere Grünſandformation	Sand, Sandſtein, Mergel mit mehr oder weniger Grünerde, der Sgndſtein oft als Bauſtein brauchbar.	Seeproducte, mit untergeordneten Landproducten. — *Ostrea carinata.*
b. Gaultformation.	Grünlich blauer Thonmergel, rauh anzufühlen.	Seeproducte, mit untergeordneten Landproducten. — *Inoceramus sulcasus.*
c. Untere Grünſandformation	Eiſenhaltiger und grüner Sand von verſchiedener Härte, jener meiſt oben, dieſer unten.	Seeproducte, mit untergeordneten Landproducten. — *Gervillia aviculoides, thetis minor, trigonia aliformis.*

	Formation.	Charakter des Geſteins.	Charakter der org. Überreſte und der Foſſilien.
10. Wealdenformation.	a. Wealdthonformation (*weald clay*).	Thonſchiefer, meiſtens von dunkel bläulichgrauer Farbe mit Kalkſteinlagern, unten mit ſchieferigem Thoneiſenſtein.	Süßwaſſerproducte, Seeproducte untergeordnet. — *Cypris fava. Vivi para fluviorum.*
	b. Eiſenſandformation (*Hastings eard*).	Sand und Sandſtein, oft eiſenhaltig, oben feſter, kalkiger Sandſtein, unten abwechſelnd Lehm, Mergel, Sand mit Eiſenſtein.	Land- und Süßwaſſerproducte. Seeproducte untergeordnet.
	c. Purbeckkalkſteinformation.	Dünne Schichten thonhaltigen Kalkſteins mit ſchieferigem Mergel.	Süßwaſſer- und Seeproducte.
11. Rogenſteinformation.	a. Portland-Rogenſteinformation.	Lichtfarbiger Rogenſtein und Kalkſtein von verſchiedenem Härtegrade.	Seeproducte, Landproducte untergeordnet. — *Pecten laminosus. Ammonites triplicatus.*
	b. Kimmeridgethonformation	Blauer, ſchieferiger oder graulich gelber Thon, oft mit Lagern bituminöſer Muſchelſchalen.	Seeprodncte, Süßwaſſerproducte untergeordnet. — *Ostrea deltoida.*
	c. Korallenragformation.	Oben hellfarbiger, kalkiger Quaderſtein, mehr oder weniger Rogenſtein und Piſolith, in der Mitte lockerer, rother Kalkſtein voll Korallen, unten kieſeliger Kalkſand und Gries.	Seeproducte, Landproducte untergeordnet. — Häufige Korallen und Echiniten.
	d. Oxforderthonformation	Dicke Lagen zähen, adhärirenden, dunkelblauen Thons mit Kalklagern und bituminöſen Muſchelſchalen.	Seeproducte. Land- und Süßwaſſerproducte untergeordnet. — *Gryphaea dilatata.*

	Formation	Charakter des Geſteins.	Character der org. Überreſte und der Foſſilien.
11. Rogenſteinformation.	c. Trümmergeſteinformation (*Cornbrash*).	Rother, lockerer Kalkſtein auf Thon.	See-, Land- und Süßwaſſerproducte. — *Avicula ovata. Apocrinites rotundus.*
	f. Foreſtmarbleformation.	Spaltbarer Kalkſtein zwiſchen zwei Schichten kieſelhaltigen Kalkſteins und Gries.	
	g. Bradforderthonformation	Blauer Mergelſchiefer.	
	h. Große Rogenſteinformation.	Rogenſtein und hellfarbiger Kalkſtein.	Seeproducte. Landproducte untergeordnet. — *Apocrinites rotundus.*
	i. Fullers Erdenformation.	Gelber und blauer Lehm auf Fullererden, mit zwiſchenliegenden Kalkthonlagern, worunter harte Schichten vorkommen.	
	k. Unterer Rogenſtein.	Hellfarbiger und bräunlicher Kalkſtein mit Brauneiſenſtein, auf Kalkſand mit kalkigen Concretionen.	Seeproducte. Landproducte untergeordnet.
	l. Lias.	Oben blauer Mergel mit Lagern verhärteten Mergels oder thonigem Kalkſteine, unten viele thonhaltige Kalkſchichten von verſchiedener Härte mit Thonmergel- und Thonſchiefer.	Seeproducte. Land- und Süßwaſſerproducte untergeordnet. — *Griphaea incurva. Ammonites Bucklandi. Plagiostoma gigantea.*
12. Rothſandſteinf.	a. Rother Mergel.	Rother, nicht ſchieferiger Mergel, von einem dicken Lager grünlich grauen Mergel überlagert und auf Mergel ruhend, der nach und nach ſchieferig und grau wird. Unregelmäßige Kalkſteinlager,	Landproducte. Seeproducte untergeordnet.

	Formation.	Charakter des Geſteins.	Charakter der org. Überreſte und der Foſſilien.
12. Rothſandſteinformation.		oben mit Strontian, mitten mit Gips, Bitterkalk, Kohlen und Sandſtein, unten mit Gips und Steinſalz.	
	b. Muſchelkalk.	Feſter, dunkelgrauer Kalkſtein, oben mit Hornſtein, überlagert von grünlich grauem Mergelſchiefer, mit Maſſen von löcherigem und feſten Kalkſtein, alles ruht auf Lagern von Dolomit oder Kalkſtein.	Seeproducte. Süßwaſſerproducte (?) zweifelhaft. — *Encrinites liliformis. Terebratula vulgaris, Cypricardia socialis. Ammonites nodosus.*
	c. Bunter Sandſtein.	Feinkörniger, röthlichbrauner oder bunter Sandſtein mit Glimmer, überlagert von Mergelſchiefer, glimmerhaltigem Sandſtein mit Gips und Dolomit, auf wenigem glimmerhaltigen groben Sandſteine ruhend.	Land- und Seeproducte.
	d. Alpenkalkſtein (Zechſtein).	In Deutſchland: Eigentlicher dunkelgrauer Zechſtein mit ſplitterigem und unebenen Bruche, nur wenige Klafter dick. In mächtigern Lagern geht er oben in Stinkſtein über. Der Zechſtein ruht auf Kupferſchiefer. In England enthält dieſer Kalkſtein Gips und Steinſalz, hat Glimmerglanz, gelbe Farbe und körniges Gefüge.	In Deutſchland Seeproducte — *Producta aculata.* In England Süßwaſſer- und Landproducte. —
	e. Rothes todtliegendes.	Sandſtein- und Conglomerat, beſonders von rother Farbe, letztere oft mit eckigen Bruchſtücken von nahen Gebirgen. Das harte Geſtein mit Trapp, oder theilweiſe mit Porphyr.	

Formation.	Charakter des Geſteins.	Charakter der org. Überreſte und der Foſſilien.
13. Steinkohlenformation. a. Steinkohlen.	Abwechſelnde Lager von Kohlen, Schieferthon und Sandſtein, in vielen Folgen.	Landproducte. Süßwaſſer- und Seeproducte untergeordnet. — *Lycopodia* und *Filices*.
b. Mühlſtein u. Schieferthon.	Grobkörniger, kieſeliger Sandſtein mit Schieferthon, erſterer oben, letzterer unten vorherrſchend.	Land- und Seeproducte.
14. Neuere Übergangskalkformation.	Kalkſtein mit Kalkſpathadern, oft rogenſteinartig, meiſt bläulichgrau, nach und nach dunkel und roth, als Marmor brauchbar.	Seeproducte. Landproducte untergeordnet. — Häufige Encriniten.
15. Jüngere Grauwackenformation.	Grobkörniger, kieſel- und glimmerhaltiger Sandſtein mit Quarz, Thon und Thonſchiefer, von ſchmutzig eiſenrother, dunkelbrauner, oft grauer Farbe. Wird oft, beſonders unten ſchieferig und geht förmlich in ſchieferigen, feinkörnigen, glimmerhaltigen Sandſtein über.	Land- und Seeproducte.

Die Formationen 1—7 gehören zu den oberen (tertiären), 8—12 zu den obermittleren (ſecundären), 13—15 zu den mittleren nach der Terminologie der Engländer. Die 7 erſteren beziehen ſich auf die Unterſuchungen Cuvier's und Brogniart's im Pariſer Becken, 8—11 auf die in England angeſtellten Unterſuchungen, 12 *a*, *b*, *c* auf die Vogeſen nach Beaumont, 12 *d* und *e* auf Deutſchland, die folgenden wieder hauptſächlich auf England. Fig. 265 ſtellt die betreffenden Schichten in ihrer natürlichen Aufeinanderfolge und relativen Mächtigkeit dar, wie ſie vorher beſchrieben wurden. Es bezeichnen die ganz leeren Felder Kalkſtein, die mit Diagonalſtrichen Gips, die mit Puncten Sand nnd Sandſtein, die mit kleinen Nullen Conglomerat, die mit horizontalen Strichen Thon,

Schieferthon und Mergel und die mit krummen Strichen Steinſalz an.

153. Die Gebirgsarten, welche keine organiſchen Überreſte enthalten, laſſen ſich füglich in primitive (Urgebirge) und in vulkaniſche Gebirge eintheilen. Die Urgebirge bilden in der Regel die Baſis der übrigen Gebirgsarten und nehmen den unterſten Platz ein, doch kommen ſie manchmal auch zwiſchen jüngeren Gebirgsarten eingekeilt vor, ragen oft über alle anderen hervor und bilden die höchſten Puncte der Erdoberfläche. Sie haben ein kryſtalliniſches Gefüge und nur wenige erſcheinen in Schichten. Sie beſtehen aus Kieſelerde, Talkerde, Thonerde, Eiſen und aus Kalkerde. Zu dieſen Gebirgsarten gehören die Granit-, Porphyr-, Gneis-, Glimmerſchiefer-, Urkalk- und Urthonſchiefergebirge. Der Granit iſt ein Aggregat von Feldſpath, Quarz und Glimmer in verſchiedenen Mengungsverhältniſſen und von ſehr verſchiedener Größe des Kornes, bildet ſehr ausgebreitete Gebirge und kommt auch in einzelnen Zügen zwiſchen anderen Gebirgen vor. Gebirge, welche aus Granit beſtehen, haben, wenn ſie niedrig ſind, ziemlich ſanfte Umriſſe, wenn ſie aber hoch ſind und der Granit zu Tage liegt, erſcheinen ſie ſchroff und ſteil, voll nackter Felſen und Abgründe, ſo daß ſie von Ferne wie alte Ruinen ausſehen. Der Granit bildet einen Theil der Pyrenäen und der Alpen, des Urals und Caucaſus u. g. m. Porphyr kann als ſehr grobkörniger Granit angeſehen werden, an dem man die Kryſtalle der Gemengetheilen erkennt. Er kommt, wenigſtens in Europa, nicht in großer Ausdehnung vor; Granit, deſſen Glimmer durch Hornblende erſetzt iſt, heißt Sienit, oder mit einem verhältnißmäßig größeren Antheil von Hornblende Grünſtein. Der Gneis enthält mehr Glimmer als der Granit und hat eine mehr ſchieferige Textur. Er bildet vorzugsweiſe die Gebirge Norwegens und des ganzen nördlichen Europa's, kommt auch in den Pyrenäen, in den ſüdlichen Alpen, in Nordamerika rc. häufig vor. Er geht oft in Glimmerſchiefer, eine aus Glimmer und Quarz beſtehenden Gebirgsart mit ſtrenger Schichtung über, enthält unter den Urgebirgen die meiſten fremdartigen Geſteine eingelagert von z. B. Talk, Quarz, Kalkſtein, Granaten rc. Er iſt, wenigſtens in Europa, das am meiſten verbreitete Geſtein und kommt in den Alpen, in Frankreich, Deutſchland, Schottland, in den Pyrenäen, in Nordamerika häufig vor. Der Thonſchiefer, aus Feldſpath, Glimmer, Quarz und Kalk beſtehend, iſt eine ſehr

verbreitete Gebirgsart von blätterigem Gefüge, von grauer mehr oder weniger dunkler Farbe. Er bildet Berge mit ſanften, wellenförmigen Umriſſen. Man trifft ihn in vielen Gebirgen, beſonders in Südamerika. Der Urkalk iſt dichter, körniger und darum zu Bildhauerarbeiten beſonders geeigneter Kalkſtein, der in Dalmatien, Griechenland (Paros) wiewohl nicht in gar großen Strecken vorkommt. — Verfolgt man die Reihe der Urgebirgsarten, wie ſie auf einander von Unten nach Oben folgen; ſo nimmt wohl der Granit immer den unterſten Platz ein, aber die übrigen Urgebirgsarten ſind an kein völlig ſtrenges Geſetz gebunden.

154. Die vulcaniſchen Gebirge ſind Trachyt-, Baſalt-Gebirge und Erzeugniſſe der jetzt noch thätigen Vulcane (Lava). Die Trachytgebirge beſtehen hauptſächlich aus Trachyt, einem farbigen Feldſpathe, enthalten aber auch Perlſtein, Obſidian, Klingſtein 2c. und bilden meiſtens coniſche Berge, wie z. B. die Euganäiſchen Hügel bei Padua, den Mont d'Or, Puy de Dome, das Siebengebirge in Rheinpreußen, die vielen Berge in Ungarn, vorzüglich aber in der Andenkette. Buch ſieht den Trachyt als einen durch heiße Dämpfe veränderten Granit an. Die Baſaltgebirge haben ihren Namen vom Baſalte, einem Gemenge aus Augitkörnern, Feldſpath und Eiſenoxydul, aus dem ſie beſtehen. Sie haben die Geſtalt abgeſtumpfter Kegel, wie Glocken, ſtehen zuweilen einzeln, zuweilen in Gruppen geordnet, wie dieſes auf den canariſchen Inſeln, in Auvergne, in Böhmen der Fall iſt, ſind meiſtens kahl da und nur kleine Geſträuche vegetiren ſparſam auf ihrem Rücken. Weil der Baſalt eine große Neigung hat, in ſechsſeitigen Säulen zu zerklüften, ſo bilden ſich häufig in Baſaltgebirgen mächtige Spalten und einzeln ſtehende Baſaltmaſſen. Der Rieſendamm in Irland beſteht aus Baſalt und bildet eine 70 Meilen fortlaufende Straße, die Rieſenſtraße. Dieſes Geſtein kommt häufig zwiſchen anderen Gebirgsmaſſen eingekeilt vor, und da bemerkt man oft in dem benachbarten Geſteine Veränderungen, wie ſie nur durch eine hohe Temperatur hervorgebracht werden konnten. So z. B. wird der Kalkſtein kryſtalliniſch und härter, der Granit glaſig 2c. Die Lavagebirge beſtehen im Allgemeinen aus Lava, einer Maſſe, die dem Trachyte und Baſalte ganz ähnlich iſt und ganz das Bild einer im Fortfließen erhärteten Maſſe gewährt, auch gewiß im geſchmolzenen Zuſtande aus dem Innern der Erde hervorgetrieben wurde, weil man noch heut zu Tage oft Zeuge ſolcher Auswürfe

der Vulcane iſt. Die betreffenden Berge haben Kegelform, oben eine trichterförmige Öffnung (Krater) und heiße Vulcane. Nach v. Buch theilen ſich alle Vulcane der Erdoberfläche in Central- und Reihen-Vulcane. Erſtere bilden den Mittelpunct einer großen Menge nach allen Seiten beinahe gleichmäßig wirkender Ausbrüche, letztere liegen in einer Reihe hinter einander in geringen Entfernungen. Einige erheben ſich wie Kegel aus dem Grunde des Meeres und bilden gleichſam den Fuß eines primitiven Gebirges, das in derſelben Richtung ihnen zur Seite auslauft, oft ſtehen ſie auf dem höchſten Rücken dieſer Gebirge und bilden den Gipfel derſelben. Zu den Centralvulcanen rechnet v. Buch die lipariſchen Inſeln, den Ätna, die phlegräiſchen Felder und den Veſuv, Island, die azoriſchen, canariſchen, Cap verde'ſchen Inſeln, die Gallopagos, die Sandwichsinſeln, die Marqueſas, die Societätsinſeln, die freundſchaftlichen Inſeln und Bourbon. Als Reihenvulcane betrachtet er: Die griechiſchen Inſeln, die weſtauſtraliſche Reihe, die Inſeln von Sunda, die Reihe der Molucken und Philippinen, der japaniſchen und curiliſchen Inſeln und von Kamtſchatka, die Reihe der aleutiſchen Inſeln, der Marianen, die von Chili, Quito, den Antillen, Guatimala, von Mexico. Als zweifelhafte Centralvulcane führt er an: Den Demavend, den Ararat, den Seiban-Dagh, die tartariſchen Berge öſtlich von China. (Buch in Pogg. Ann. 10.)

155. Eine beſondere Betrachtung verdienen die organiſchen Überreſte, welche ſich im Schooße der Erde befinden, weil ſie uns über die Veränderungen, welche die ſchon von Pflanzen und Thieren bewohnte Erde erlitten hat, ein treues Zeugniß geben. Dieſe Reſte zerſtörter Organismen beginnen mit dem Übergangsgebirge, jedoch kommen ſie da noch nicht häufig vor und beziehen ſich nur auf Holz, Schilf, Korallen, Schnecken ꝛc. überhaupt auf Thiere und Pflanzen von der niedrigſten Organiſationsſtufe, es ſind aber oft von dieſen, beſonders von Fiſchen nur Abdrücke in Thonſchiefer vorhanden. In viel größerer Menge finden ſie ſich in den ſecundären und tertiären Formationen. Da kommen zuerſt in ausgebreiteten Lagern die Steinkohlen vor, für deren organiſchen Urſprung unzählige Gründe ſprechen. Denn ſie haben dieſelben chemiſchen Beſtandtheile wie die Pflanzen, wir ſehen noch heut zu Tage vor unſern Augen Holz in der Erde in einen Körper (Pechkohle) übergehen, welcher große Ähnlichkeit mit der Steinkohle hat, man findet Schilfe im Schieferthon und im Sandſtein in Steinkohlenmaſſe ver-

wandelt. Dieſe Gründe zeugen nicht blos für den organiſchen Urſprung der Steinkohlen überhaupt, ſondern machen es höchſt wahrſcheinlich, daß ſie verwandelte Pflanzen ſind. Für letzteres ſpricht auch noch der Umſtand, daß in Steinkohlengebirgen die Spuren von Gewächſen deſto zahlreicher werden, je näher man den Steinkohlen kommt und daß ſie in den Steinkohlen ſelbſt aufhören, welches nur begreiflich wird, wenn man eine Verwandlung derſelben in Steinkohlenmaſſe annimmt. Allein da bleibt noch immer die Frage zu beantworten, was das für Pflanzen ſind, die in Steinkohlenmaſſe umgewandelt wurden, ob ſie auf dem Platze gewachſen, an dem ſie jetzt vorkommen, oder ob ſie durch gewaltſame Transporte dahin gebracht worden, endlich wodurch ſie dieſe Änderung erlitten. Das Vorkommen der Steinkohlenmaſſe in engen Klüften, wie ſie Werner und Charpentier in der Lauſitz wahrgenommen haben, das Daſeyn von Steinkohlenadern im Geſteine der Steinkohlengebirge und der Umſtand, daß das den Steinkohlen nächſte Geſtein mit ihrer Maſſe geſchwängert iſt, läßt ſich kaum anders erklären, als daß man annimmt, die Materie der Steinkohlen ſey einmal flüſſig geweſen und die Pflanzen ſeyen an demſelben Platze geſtanden, wo ſie die Verwandlung in Kohle erlitten haben. Es iſt übrigens ſehr wahrſcheinlich, daß dieſe Pflanzen Schilfe waren, weil gerade dieſe Pflanzen in wahre Steinkohle verwandelt vorkommen, wie man aus ihren Abdrücken erſieht, die ſich im Schieferthon und Sandſteine befinden. — Außer Steinkohlen befinden ſich in dieſen Gebirgen noch andere unzweideutige Überreſte organiſcher Körper. Im ſogenannten Muſchelkalkſteine trifft man eine unzählige Menge von Schalthieren in einer ſolchen Ordnung beiſammen, wie ſie ſich noch jetzt am Meeresgrunde befinden. In vielen Gebirgslagern finden ſich Knochen von Thieren, deren Originalien nicht mehr exiſtiren, und von anderen, die jetzt in anderen Welttheilen leben. Merkwürdig ſind überdieß noch die in Sandſteingebirgen vorkommenden Braunkohlen, welche aus vergrabenen Bäumen entſtanden ſeyn müſſen, weil neben ihnen noch halb verkohlte Baumſtämme liegen und an vielen Kohlen noch die holzige Textur auffallend bemerkt werden kann. — Das aufgeſchwemmte Land enthält Reſte aus dem Pflanzen- und Thierreiche. Es finden ſich darin ganze verſchüttete Wälder mit Bäumen, die zum Theile noch auf den Wurzeln ſtehen, Zweige und Blätter haben und zu Bauholz verbraucht werden können, während andere ſchon zum Theile in Braunkohle verwandelt

oder ganz verſteinert ſind. Auch der Torf befindet ſich in dieſer Gebirgsformation, der eine aus Pflanzentheilen, aus Wurzeln, Stängelchen, Blättern zuſammengeſetzte, in einen ſchwärzlichen und brennbaren Stoff verwandelte Subſtanz vorſtellt, der aber auch oft Gegenſtände des Kunſtfleißes, z. B. Münzen, Äxte, ganze Fahrzeuge enthält, zum Beweiſe ſeines geringen Alters. Von thieriſchen Überbleibſeln befinden ſich im aufgeſchwemmten Lande beſonders Knochen von Elephanten, Pferden ꝛc. Man kann aber auch hier die Überreſte der Thiere, die noch jetzt in dem Klima wohnen, wo ſie gefunden werden, von denen unterſcheiden, die einem anderen Klima eigen ſind und daher auch unter anderen klimatiſchen Verhältniſſen an den Orten gelebt haben müſſen, wo ſie durch ihre Reſte ihr Andenken zurückließen. Zu den letzteren gehören die Knochen von Elephanten, Rhinoceroſſen, Hiänen, die man bei Canſtadt im Würtembergiſchen in der Nähe eines umgeſtürzten Palmenwaldes fand, und das Elephantenſkelett, welches in Thüringen aus einer Tiefe von fünfzig Fuß ausgegraben wurde. Wiewohl ſolche Knochen faſt in jedem aufgeſchwemmten Lande von etwas größerer Ausdehnung vorkommen, ſo ſcheint doch hierin das aſiatiſche Rußland allen Ländern den Rang ſtreitig zu machen. Denn es gibt daſelbſt nach Pallas keinen Fluß, in deſſen Bette oder an deſſen Ufern nicht Knochen von Elephanten und anderen dieſer Gegend jetzt fremden Thieren gefunden werden. Wiewohl dieſe Knochen meiſtens einzeln, zerbrochen und abgerundet vorkommen, ſo trifft man doch nicht ſelten auch ganze Cadaver ſogar mit ihren Haaren an und zwar, was beſonders zu bemerken iſt, mitten unter Seemuſcheln und anderen dem Meeresboden eigenen Körpern. (*Blumenbach specimen archaeologiae telluris etc. Göttingae* 1803. *Essai sur la Géographie minéralogique des environs de Paris, par G. Cuvier et A. Brongniart. Paris* 1811.)

156. Im Innern der Gebirgsmaſſen findet man oft einzelne Lagerſtätten, bei denen man leicht erkennt, daß ſie ſpäteren Urſprunges ſind, als das Gebirge, welches ſie enthält. Dieſes ſind die Gänge und Modificationen derſelben. Man nennt überhaupt Gänge ſolche plattenförmige Mineralmaſſen, welche ein Gebirge durchſchneiden und von einem Stoffe gebildet ſind, der von dem des Gebirges verſchieden iſt. Sie laufen bald wagrecht (ſöhlig), bald lothrecht (ſeiger), bald ſchief (ſchwebend), unter verſchiedenen Richtungen (Streichen) gegen die Weltgegenden und mit verſchiedener

Mächtigkeit, jedoch ſo, daß ſie meiſtens nach Unten zu an Mächtigkeit abnehmen und daher keilförmig zuſammenlaufen. Die Stoffe, welche ſie ausfüllen, ſind von verſchiedener Natur; unter anderen kommen auch häufig Metalle vor. Dieſe füllen aber ſelten einen Gang völlig aus, ſondern befinden ſich meiſtens nur in der Mitte desſelben und ſind da in ein fremdartiges Geſtein, die ſogenannte Gangmutter, eingeſchloſſen, erſtrecken ſich nicht durch die ganze Länge des Ganges, ſondern liegen nur in Abſätzen, die oft ſo kurz ſind, daß ſie wie ein Neſt ausſehen. Selten kommt in einem Gange ein Metall allein vor, ſondern er enthält deren meiſtens zugleich mehrere in einer gewiſſen Ordnung, auch finden ſich nicht alle Metalle in Gängen, wie z. B. Platin, das bis jetzt nur in Abſätzen des aufgeſchwemmten Landes vorkam. Nicht alle Gebirgsarten führen Gänge, einige haben ſie zwar, ſie ſind aber nicht metallführend, an einigen kommen ganz leere (offene) Gänge vor. Der Granit iſt unter den Urgebirgen am wenigſten erzführend; Gänge in ihm enthalten nur Eiſen, Zinn, Gold und Spießglanz. Die reichſten Gänge und mit den mannigfaltigſten Metallen gefüllt kommen in Gneis, Glimmerſchiefer und Thonſchiefer vor, beſonders führt erſtere Gebirgsart faſt alle Metalle mit Ausnahme des Queckſilbers. Der durch die Güte und Menge des Eiſens berühmte Bergbau zu Danemora in Schweden wird in Gneis, der Bau auf Kupfer zu Fahlun in Schweden wird in Glimmerſchiefer betrieben und das weltberühmte Silberbergwerk zu Potoſi in Peru liefert ſein reichhaltiges Product aus Gängen in Thonſchiefer. Der Hauptgang daſelbſt ſoll 120 Fuß mächtig ſeyn, und früher in 10 Jahren 6 Mill. Mark Silber geliefert haben. — Über den Urſprung der Gänge herrſchen verſchiedene Meinungen. Nach Werner ſind Gänge von Oben herein durch naſſen Niederſchlag ausgefüllte Gebirgsſpalten und waren anfangs offene Klüfte, wie ſie noch heut zu Tage in trockenen Jahren, noch mehr aber bei Erdbeben entſtehen, wurden aber ſpäter von Oben erfüllt durch Niederſchläge, denen ähnlich, welche ſich in Flötzen und Lagern befinden, nur müßten ſie etwas ruhiger als dieſe vor ſich gegangen ſeyn, weil die Gänge ſo viele Kryſtalle enthalten. Nach der Anſicht anderer entſtanden die Gänge durch eine unterirdiſche Gewalt und wurden auch durch von Unten aufgetriebene Maſſen erfüllt. Nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe über das Entſtehen der Gebirge, von welchem in der Folge die Rede ſeyn wird, muß man die letztere Anſicht der erſteren vorziehen,

um ſo mehr als die Urgebirge, welche doch ſo reich an Gängen ſind, ſelbſt als plutoniſche Producte angeſehen werden müſſen, und viele Gänge durch von Unten wirkende Kräfte verſchoben (verworfen) erſcheinen. (Werner's neue Theorie der Entſtehung der Gänge. Freyberg 1791. Charpentier's Beobachtungen über die Lagerſtätte der Erze. Leipzig 1799.)

157. Zu den Merkwürdigkeiten des Inneren der Erde gehören auch die daſelbſt befindlichen Höhlen. Viele derſelben vermuthet man nur aus Pendelbeobachtungen, von einer großen Anzahl hat man ſich durch Augenſchein überzeugt. So fand Condamine unweit Quito eine Stelle, wo die Pendelſchwingungen eine Höhlung in der Erde verriethen von wenigſtens $1\frac{1}{4}$ K. Meile, die wahrſcheinlich mit dem Krater des nahen Vulcans Pichinka zuſammenhängt. Eine ungemein große und ausgedehnte Höhle befindet ſich zu Friedrichshall in Norwegen. Die Höhle Dolſtien in Hervoe in Norwegen reicht tief unter den Meeresboden; denn die Beobachter, welche ſie beſuchten, hörten das Meer über ſich brauſen und ſahen doch noch einen ungeheuren Abgrund vor ſich. — Die Höhlen ſind vorzüglich im Kalkſtein häufig; aber unter den verſchiedenen Kalkſteinformationen enthält ſie der Urkalk ſelten, indeß kommen doch mehrere in der Schweiz, und das ſogenannte Kitzelloch in Schleſien in dieſem Geſteine vor. Am häufigſten und in der größten Ausdehnung befinden ſie ſich aber im tertiären Kalkſteine. Zur Claſſe dieſer Höhlen gehören: die berühmte Adelsberger Grotte in Krain, die Mixnitzerhöhle in Steiermark, die Baumannshöhle, die Höhle bei Muggendorf im Bayreut'ſchen, vorzüglich die Roſenmüller- und Gailenreutherhöhle, die Paolshöhle in Derbyſhire, die Veteraniſche Höhle im Banat, die Obyhöhle in Sommerſetſhire, die Höhle von Antiparos, die Grotte della Berquilla in Murcia, die Jungferngrotte unweit des Ganges. Indeſſen gibt es auch einzelne Höhlen in Kieſel, wie z. B. die im Canton Bern, und in Baſalten, unter welchen ſich die Fingalshöhle auf der Inſel Staffa mit ihren Baſaltſäulen auszeichnet. Viele Höhlen enthalten Waſſer, wie z. B. die Cueva di Guacharo, die Höhle unweit Ingleton in Yorkſhire, die bei Urach in Schwaben; aus einigen ſtrömt ſelbſt mitten im Sommer ein eiskalter Luftſtrom, der wahrſcheinlich durch Verdünſtung des Waſſers oder durch Eismaſſen ſo ſehr abgekühlt wird. Von der Art iſt die berühmte Höhle bei Scelicze in Ungarn, jene bei Beſançon, die Höhle im Monte Äoli bei Terni; aus andern kommt

wieder erhitzte Luft, wie z. B. aus den Sudatori bei S. Germano im Neapolitaniſchen; wieder andere enthalten erſtickende Gasarten, vorzüglich Kohlenſäuregas oder Stickgas, wie die Hundsgrotte bei Puzzuoli und die Sibyllenhöhle im Neapolitaniſchen, die Höhle auf Antiparos. — Es befinden ſich in den meiſten Kalkhöhlen Knochen von vierfüßigen Landthieren, die abgelöſet, zerſtreut, zum Theile zerbrochen und zerſetzt herumliegen, von einer leicht zerreiblichen meiſtens ſchwärzlichen Erde umgeben ſind und oft an die Wände der Höhle angewachſen erſcheinen. Dieſe Knochen ſind im Umfange von mehr als zweihundert Meilen ſtets dieſelben und gehören meiſtens zu Bären, die nun nicht mehr leben; einige rühren aber auch von einer Art Hiäne her, andere, aber wenige, gehören zu einer Gattung des Tieger- oder Hundgeſchlechtes, und die wenigſten zu kleinen Thieren, wie z. B. Füchſen, Iltiſſen.

Am reichſten an ſolchen Reſten iſt die Gailenreuther Höhle im Bambergiſchen. Eine Menge Knochen liegen in den innern Gewölben dieſer Grotte frei da, die meiſten ſind aber in der lockeren Erde des Bodens vergraben, die ſelbſt aus vermoderten thieriſchen Reſten beſteht und im Feuer einen widrigen Geruch verbreitet. Beim Nachgraben fand man bis zu einer Tiefe von 6 Fuß nichts als Knochen und Moder, aber auch in den Seitenwänden 18—20 F. über dem Boden trifft man noch viele an. In den vorderen Theilen der Höhle iſt die Luft noch ziemlich erträglich, in den hinteren fängt ſie aber an dumpfig zu werden, und wenn man da einen Knochen zerſchlägt, entwickelt ſich aus ihm ein ſcharfer, betäubender Geruch. (Ritter's Beſchreibung der größten und merkwürdigſten Höhlen. Hamburg 1801.)

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

158. Es kann wohl Niemand glauben, daß die Erde in dem Zuſtande, in welchem ſie ſich gegenwärtig befindet, aus den Händen des Schöpfers gekommen ſey, da wir täglich Veränderungen an ihr bemerken, von vielen anderen authentiſche Nachrichten vorhanden ſind und die unzähligen Überbleibſel der organiſchen Körper, die Niederlagen verſchütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehmaliger Gebirge, die Spuren verloſchener Vulcane, die Geſtalt der Thä-

ler, die Formen vieler Gebirge und der Seeküſten u. a. hinreichende Beweiſe eines früheren, von dem gegenwärtigen verſchiedenen Zuſtandes enthalten.

159. Der Fleiß der Menſchen arbeitet unabläſſig an der Umſtaltung der Erdoberfläche und ſelbſt Thiere werden durch den Trieb der Selbſterhaltung gezwungen, zu demſelben Zwecke hinzuarbeiten. So z. B. bauen die Mandreporen fortwährend ihre Korallen und erhöhen dadurch den Meeresboden; wenn auch die Wirkungen ihrer Thätigkeit nicht ſo groß ſind, wie man einſt geglaubt hat, indem dieſe Thiere weder in ſehr großen Tiefen noch über die See hinaus arbeiten können, ſo würden ſie doch einzelne Meere für die Schiffahrt ganz untauglich machen, wenn nicht Wellen und Strömungen ihre Gehäuſe wieder zum Theile zerſtörten und fortführten. Auch die Pflanzenwelt trägt zur Umſtaltung der Erdoberfläche das ihrige bei. Fortwährend geht die Verweſung und die Bildung neuer Dammerde vor ſich, die den Pflanzen wieder zur Nahrung dient. Viele im Waſſer wachſende Gewächſe von niederer Organiſation, wie z. B. Conſerven, werden zerſtört und in Torf verwandelt. Nach van Marum's Erfahrungen bildet ſich im Baſſin von Harlem innerhalb 5 Jahren ein beinahe 3 F. tiefes Torflager.

160. Die Luft trägt ſowohl im ruhigen als im bewegten Zuſtande viel zur Umſtaltung der Erde bei. Durch ihren Einfluß verwittern viele Stoffe und nicht ſelten hat eine Bergſpitze ein ſo zerriſſenes Ausſehen deßhalb, weil die Verwitterung fortwährend an ihr arbeitet und einige Stellen mehr angreift als andere; viele nun iſolirt daliegende Felſenblöcke mögen Überreſte verwitterter Gebirge ſeyn. D'Aubuiſſon ſah in Schottland an vielen Stellen Baſaltſäulen iſolirt in die Höhe ſtehen, die doch bei ihrem Entſtehen als vulcaniſche Producte eine feſte Stütze haben mußten. Durch dieſe Wirkungen werden die Gebirge erniedrigt und die Thäler erhöht. Die bewegte Luft, der Wind, bringt beſonders in ſolchen Gegenden, die mit Flugſand bedeckt ſind, nicht unbedeutende Wirkungen hervor. Dieſen Sandwehen iſt es zuzuſchreiben, daß in Sandwüſten die Oaſen nach und nach die traurige Geſtalt der Wüſte annehmen, daß die Wüſten ihr Gebiet allmälig vergrößern, wie man auf der Karavanenſtraße zwiſchen Cairo und Syrien, am weſtlichen Ufer des Euphrat ꝛc. zu bemerken glaubt.

161. Noch größer ſind die Wirkungen des Waſſers. Das Meer

wirkt durch alle ſeine Bewegungen zerſtörend und erweiternd auf die Ufer. An einigen Gegenden erobert es mit langſamen Fortſchritten einen Theil des feſten Landes, an anderen tritt es wieder zurück und läßt den Boden trocken hinter ſich, ohne jedoch über das Feſtland ein größeres Übergewicht zu gewinnen, als es bereits ſeit Langem beſitzt. So findet man an der dalmatiſchen Küſte Bauten im Meere, die offenbar auf trockenem Lande angelegt wurden, dafür liegen aber anderwärts viele Städte, die einſt Seehäfen waren, ziemlich weit vom Meere entfernt. Das Anſetzen neuen Landes wird beſonders durch Flüſſe und Bäche bewirket, die Steine und Erde von den höher gelegenen Gegenden ins Meer führen und ſie an den Mündungen liegen laſſen. Sie ſpülen auch dort, wo ihr Lauf ſchnell iſt, das Ufer ab, nehmen Erde, Sand und Steine ſtreckenweiſe mit ſich, ſetzen ſie wieder ab, wenn ihre Geſchwindigkeit vermindert wird, machen dadurch ihr Bett ſeichter, dehnen ſich mehr in die Breite aus oder ändern gar ihren Lauf. Manche Flüſſe ſchwellen durch häufigen Regen an, überſchwemmen das feſte Land und erhöhen es durch den Schlamm, den ſie bei ihrem langſamen Rückzuge zurücklaſſen. In ſolchem Sinne nennt auch Herodot Unterägypten ein Geſchenk des Nils. Wo ſich Gewäſſer unter der Erde verlieren, arbeiten ſie beſtändig an der Untergrabung des feſten Landes und bewirken dadurch die ſogenannten Erdfälle, welche in Gebirgsgegenden, wo Erdmaſſen auf platten Felſen aufſitzen, nichts ſeltenes ſind. So verſank 1585 das Dorf Mottingham bei Kent, 1618 ſtürzte eine Felſenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano, 1806 wurden durch einen Bergſturz des Roßberges mehrere Ortſchaften mit Schutt bedeckt, 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Klafter hohen Lettenſchichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall ſcheint von der Untergrabung des Bodens durch Waſſer herzurühren. — Mit Hülfe der Temperatur ſowohl der höheren als niederen bewirkt das Waſſer auf der Erde ganz eigene Erſcheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmoſphäre herab und häuft es ſich an hohen Gebirgen an; ſo entſtehen manchmal die ſehr gefährlichen Schneeſtürze und Lawinen, welche ganze Ortſchaften verſchütten, Flußbetten verdämmen und dadurch auf entfernte Gegenden wirken. Dringt das atmoſphäriſche Waſſer in die Ritzen der Berge ein und gefriert darin, ſo dehnt es ſich mit unglaublicher

Kraft aus, zerſprengt das feſteſte Geſtein oder treibt es wenigſtens aus einander und befördert dadurch die Einwirkung anderer Urſachen.

162. Schneller als durch die hier genannten Kräfte erfolgen große Veränderungen der Erde durch vulcaniſche Ausbrüche und durch Erdbeben. Wiewohl in den Vulcanen die innere Thätigkeit ohne Zweifel ununterbrochen fortdauert, ſo erfolgen doch nur manchmal kräftigere Ausbrüche. Die Vorboten derſelben ſind Rauchſäulen, die ſich mit ſehr großer Geſchwindigkeit aus dem Krater des Vulcans erheben und meiſtens aus Waſſerdunſt, Waſſerſtoffgas, kohlenſaurem Gas beſtehen, manchmal ſogar auch Schwefelſäure und Salzſäure mit ſich führen und nicht ſelten ungeheure Regengüſſe verurſachen. So wie dieſer Rauch häufiger wird, führt er auch Aſche mit ſich und bekommt dadurch ein weißliches Anſehen, ja die Aſche erſcheint oft in ſo großer Menge, daß dadurch die benachbarten Gegenden völlig verfinſtert werden. Winde führen ſie in Gegenden, welche viele Meilen weit vom Vulcane entfernt ſind. So wird erzählt, daß man beim Ausbruche des Veſuv's im Jahre 1794 vier Meilen weit ſelbſt bei Tage nur mit Fackeln herumgehen konnte und daß die ganze, 50 Meilen weit entfernte Gegend von Calabrien ganz in Wolken gehüllt war. Auf die Aſche folgt gewöhnlich feiner Sand. Dieſer wird von vielen Vulcanen in ſo großer Menge ausgeworfen, daß er bei manchem, wie z. B. beim Ätna, die Hauptmaſſe des Berges bildet, aus dem der Ausbruch erfolgt. Zu dieſem kommen noch Schlacken von Materien, welche im vulcaniſchen Herde geſchmolzen und emporgeſchleudert werden, dabei erhärten, und in Geſtalt abgerundeter Maſſen (vulcaniſche Bomben) herabfallen, wohl auch ungeſchmolzene Steine, die wahrſcheinlich von den Wänden der inneren Höhlungen losgeriſſen werden. Die Kraft, mit der dieſe fortgeſchleudert werden, iſt ungeheuer. Der Veſuv ſoll ſie auf 3600 Fuß über den Krater in die Höhe treiben, und bei einem Ausbruche des Cotopaxi in Südamerika ſoll ein Felſenſtück von 900 Kubikfuß 3 Meilen weit geſchleudert worden ſeyn. Mit minderer Kraft dringt die Lava hervor. Sie ſteigt ſelten bei großen Vulcanen bis zum eigentlichen Krater des Vulcans, ſondern ſucht ſich durch Druck oder durch Schmelzung der Seitenwände einen Weg, fährt da ſchnell, wie geſchmolzenes Metall, hervor, gräbt ſich im Sande, der die Seiten des Berges umgibt, ein Bett aus und bewegt ſich vorwärts. Wiewohl die Geſchwindig-

keit, mit der ſie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge der Maſſe abhängt, ſo iſt ſie doch nur ſelten groß. Auf ebenem Boden geht ſie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird ſie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn ſie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging ſogar einmal einen, 20 Schritte breiten, noch im Fluſſe begriffenen Strom. Deßungeachtet iſt ſie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Innern glüht ſie noch und iſt flüſſig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Innern flüſſig waren. Spallanzani ging über Lava, die ſeit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Innern noch einen hineingeſtoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Ähnliches bei der Lava des Veſuv, die vor $3\frac{1}{2}$ Jahren ausgefloſſen war. Man erſieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintenſteine, welche von einem Lavaſtrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geſchmolzen und verglaſet und daß Stücke Eiſen im Innern kryſtalliſirt waren. Außer den hier erwähnten Stoffen werfen die Vulcane noch Ströme heißen Waſſers aus; vorzüglich verbreiten die amerikaniſchen Vulcane oft dadurch Überſchwemmungen rings umher. Ein Theil dieſes Waſſers mag auch wohl vom geſchmolzenen Schnee kommen, der die Gipfel mancher Vulcane bedeckt. — Alle dieſe Erſcheinungen finden bei einigen vulcaniſchen Ausbrüchen Statt, während ſich bei anderen nur einige derſelben ereignen. So haben die Vulcane in Amerika Cotopaxi, Pichincha, Turgurahua ſeit Menſchengedenken keine wahre Lava ausgeworfen, wiewohl ſie dieſes ehemals gethan haben mögen, weil ſich in ihrer Nähe Lava befindet, ſondern blos Aſche, Schlacken und Steine, Waſſer und Schlamm, wahrſcheinlich, weil ſich die Lava nicht bis zu ihrem Krater erheben und die ungeheuer dicken Seitenwände nicht ſchmelzen kann; die Vulcane in Peru und Quito verheeren das Land überhaupt immer nur durch Waſſer und Schlammauswürfe. Dieſe Waſſer führen ſogar manchmal lebendige Fiſche von derſelben Art, wie ſie in den benachbarten Bächen leben. Der Vulcan von Macaluba bei Girgenti wirft nur Thon und Waſſer aus; dasſelbe thun auch einige Vulcane in der Umgebung von Modena, auf den Inſeln Tamom, Java ꝛc.

163. Die Ruhezeit eines Vulcans ſcheint im Allgemeinen mit der Höhe ſeines Kraters im geraden Verhältniſſe zu ſtehen. So

brennt der niedere Stromboli faſt immer, ſeltener geſchehen Ausbrüche des höhern Veſuvs, noch ſeltener die des noch höheren Ätna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Veſuv 16 mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern iſt bei demſelben Vulcane keineswegs immer dieſelbe, oft folgen mehrere Ausbrüche ſchnell auf einander, oft unterbleiben ſie ungewöhnlich lange. So ſchlummerte der Veſuv ſeit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiä vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Ätna, wovon die Geſchichte erzählte, für Fabel, bis ſie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerſtörte, die traurige Überzeugung vom Gegentheil gewannen. Überhaupt iſt die Ruhe eines Vulcans meiſtens nur ſcheinbar; denn wenn auch keine größeren Kataſtrophen erfolgen, ſo geht es doch im Inneren ſehr thätig zu, es ſteigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöſe ꝛc. Es ſcheint im Ganzen die vulcaniſche Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu ſeyn.

Merkwürdig iſt, was Spallanzani vom Ätna erzählt, in deſſen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil er ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Öffnung von etwa 30 Fuß, aus der ſich eine Rauchwolke erhob, er ſah, als der Wind dieſe Wolke ſeitwärts trieb, in der Tiefe der Öffnung eine flüſſige, entzündete Maſſe, die immer leicht aufwallte, fiel und ſtieg. Auf dem Gipfel des Stromboli ſah er gar die Bewegungen der Lava ſehr deutlich. Sie glich geſchmolzener Bronze, ſank und ſtieg und wurde an der Oberfläche von großen Blaſen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein Donner ähnliches Geräuſch machten.

164. Die vulcaniſchen Herde müſſen im Inneren der Erde von ſehr beträchtlichem Umfange ſeyn. Dieſes beweiſet die ungemeine Menge der Stoffe, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird und der Umſtand, daß die meiſten Vulcane aus vulcaniſcher Maſſe beſtehen. So floß aus dem Ätna im Jahre 1699 ſo viel Lava hervor, daß daraus vier Veſuve hätten gebildet werden können, die Aſche gar nicht mitgerechnet. Es iſt auch ſehr wahrſcheinlich, daß die Werkſtätte der meiſten Vulcane mit einander in Verbindung ſtehen; denn oft treffen ihre ſonſt nicht ſo häufigen Ausbrüche zugleich ein und manchmal wechſeln entfernte Vulcane mit einander ab. So brachen im Jahre 1769 der Ätna und

mit ihm zugleich die Vulcane auf den lipariſchen Inſeln aus, die Vulcane Island's und Kamtſchatka's tobten oft zugleich, und im J. 1693 verſank im großen indiſchen Ocean die Inſel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demſelben Tage, an welchem der Ätna am furchtbarſten wüthete. Der Hekla und Veſuv wechſeln oft mit einander ab. Es iſt kaum zu bezweifeln, daß der Hauptſitz der vulcaniſchen Thätigkeiten tief im Innern der Erde in der Region der Urgebirge ſey. Denn die vulcaniſchen Producte enthalten faſt durchaus dieſelben Beſtandtheile, wie die Urgebirge, ja es werden oft von Vulcanen unveränderte Stücke von Urgebirgsmaſſen ausgeworfen, endlich wäre es ſonſt nicht begreiflich, wie ſo entfernte Vulcane mit einander communiciren und wie ein Vulcan ſo viel Maſſe auswerfen könnte.

165. Daß bei den Phänomenen der vulcaniſchen Ausbrüche expanſible ſtark erhitzte Maſſen hauptſächlich thätig ſind, daran iſt kaum zu zweifeln; daß unter dieſen wieder die Waſſerdünſte eine große Rolle ſpielen, zeigt das Hervordringen derſelben aus den Schlünden der Vulcane und der Umſtand, daß es wohl im Innern der Erde, beſonders in ſo großer Tiefe, wo ſich der vulcaniſche Herd befinden mag, an Waſſer nicht gebrechen kann, ohne daß dazu gerade die Nähe des Meeres nöthig iſt. Allein es handelt ſich vorzüglich darum, wodurch die Erhitzung entſtehe, welche Dämpfe und eingeſperrte Luftarten erzeugt und das innere Geſtein eines Vulcans ſchmilzt. Die äußere Luft kann keinen weſentlichen Antheil daran nehmen, weil dieſe da nicht eindringen kann, wo ſo ſtark condenſirte Gasarten mit ſolcher Gewalt hervorkommen. Nach dem jetzigen Standpuncte der Naturlehre kann dieſe Erhitzung erklärt werden: 1) durch die innere electriſche Thätigkeit der Erde, vorzüglich durch jene, welche die Berührung ihrer ungleichartigen Beſtandtheile erzeugt, 2) durch chemiſches Einwirken der Stoffe auf einander, beſonders des Waſſers und der metalliniſchen Grundlagen der Erden, welche im Inneren der Erde wahrſcheinlich noch im reinen Zuſtande vorhanden ſind. 3) Kann ſich die Erde noch von der Urzeit her in ihrem Inneren im flüſſigen, geſchmolzenen Zuſtande befinden. — Eine electriſche Thätigkeit im Innern der Erde von ſolcher Intenſität, wie ſie zu den hier in Rede ſtehenden Phänomenen erfordert wird, dürfte ſich wohl ſchwerlich nachweiſen laſſen; eine Entzündung brennbarer Maſſen (z. B. der Schwefelkieſe) im Innern der Erde durch chemiſche Wirkung reicht nicht aus zur Erklärung aller bei vul-

caniſchen Ausbrüchen vorkommenden Phänomene, wo die Feuererſcheinungen bei weitem nicht die Hauptſache ſind; es iſt nicht begreiflich, wie der innere, metalliſche Erdkern immer noch mit Waſſer in Berührung kommen kann, da doch die einmal gebildete Oxydrinde den Zutritt desſelben hindern muß. Demnach bleibt nur die dritte Urſache übrig und aus dieſer laſſen ſich in der That alle vulcaniſchen Erſcheinungen vollkommen erklären. Gelangt nämlich Waſſer in jene Tiefen der Erdrinde, wo Glühhitze herrſcht, ſo geht es in ſehr expanſible Dünſte über und wirkt auch auf die daſelbſt befindlichen oxydirbaren Körper (z. B. Eiſen), es wird zerſetzt, ſein Waſſerſtoff nimmt Gasform an und dieſes Gas, ſo wie jene Dämpfe, ſind das Hauptagens bei den vulcaniſchen Eruptionen gerade ſo, wie ſie es bei Pulverexploſionen ſind. (Über Vulcane ſiehe: Hamilton's Beobachtungen über den Veſuv, den Ätna und über andere Vulcane, aus dem Engliſchen. Berlin 1773. Desſelben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu Reiſe nach den lipariſchen Inſeln. Aus dem Franzöſiſchen. Leipzig 1783. Spallanzani Reiſe nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuiſſon's Geognoſie. Dresden 1821. 1. Bd. S. 150. u. f. Über den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. *Scrope on the volcanos. London* 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitſch. 5. 222).

166. Mit den Ausbrüchen der Vulcane ſtehen die Erdbeben in Verbindung. Dieſe ſind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbeſtimmten Zwiſchenräumen nach verſchiedenen Richtungen, mit großer, aber meßbarer Geſchwindigkeit geſchehen und oft von ſtarken, ſenkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet ſind. Dabei ſpaltet ſich oft mit einem unterirdiſchen Getöſe die Erde, es dringen Waſſer und entzündete, ſchwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmoſphäre werden unruhig, Gebäude ſtürzen ein und begraben die unglücklichen Bewohner unter ihren Trümmern, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, ſchon vorhandene verſchlungen und ſo ganze Gegenden verwüſtet und umgeſtaltet. — Die Erdbeben ſind an keine Jahrs- oder Tagszeit gebunden, ſie ereignen ſich in kalten und warmen, naſſen und trockenen Jahren und bei jedem Alter des Mondes. Meiſtens ſieht man plötzliche Stürme, große

Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdiſches Getöſe, Unruhe der Thiere, trübe Beſchaffenheit der Luft als Vorboten dieſes traurigen Ereigniſſes an, doch kann man keines von allen dieſen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil ſie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne ſie erfolgen. — Die Urſache der Erdbeben iſt gewiß dieſelbe, welche in Vulcanen vorzüglich und zwar concentrirt thätig iſt. Es iſt aber nicht nöthig anzunehmen, daß überall, wo man Stöße verſpürt, die Urſache der Erdbeben unmittelbar wirke, indem ſich die Erſchütterungen nach Art des Schalles fortpflanzen können. (Kries von den Urſachen der Erdbeben (gekrönte Preisſchrift). Leipzig 1826.)

167. So wirkſam auch die bisher beſprochenen, auf beſtändige Veränderung der Erdoberfläche hinarbeitenden Kräfte ſind und wie ſehr ſich auch durch die Länge der Zeit ihre Wirkungen anhäufen mögen; ſo können wir doch daraus nicht alle Umwälzungen der Erde ableiten, von denen uns die gegenwärtige Beſchaffenheit der Erdrinde die unumſtößlichſten Beweiſe liefert. Wie ausgedehnt, hoch und anhaltend müßten jene Überſchwemmungen geweſen ſeyn, von welchen Conchilien und andere Waſſerthiere in mehreren fußhohen Lagern auf den Gipfeln der höchſten Berge abgeſetzt wurden, wie oft müßten ſich derlei Überſchwemmungen wiederhohlt haben, wenn von ihnen ſo viele, durch fremdartige Zwiſchenlager getrennte Ablagerungen organiſcher Reſte herrühren ſollten, und wie wäre es begreiflich, daß ſich hie und da an höheren Stellen mehr derlei Abſätze gebildet haben, als an tiefer liegenden? Es gibt uns aber der Bau der Erde ſelbſt den Fingerzeig, wo wir die Quelle ſo umfaſſender Veränderungen derſelben zu ſuchen haben. Die abgerundete, am Äquator durch die Schwungkraft herausgetriebene Geſtalt der Erde beweiſet hinreichend, daß ſich dieſelbe einſt in einem flüſſigen Zuſtande befunden habe, und die kryſtalliniſche Beſchaffenheit der unterſten bekannten Lagen der Erdrinde, nämlich der Urgebirge, ihr Eindringen zwiſchen andere Gebirgsarten ꝛc., zeugen für den Urſprung derſelben aus einer geſchmolzenen Maſſe und begründen die Annahme, der flüſſige Zuſtand ſey nicht durch Einwirkung eines chemiſchen Auflöſungsmittels, ſondern durch Hitze hervorgebracht worden. Damit ſtimmt auch die (ſpäter weiter anzuführende) Erfahrung vollkommen überein, daß noch gegenwärtig die Erde eine ihr eigenthümliche Temperatur beſitze, welche von Außen gegen Innen zu-

nimmt und berechtiget zu der weiteren Folgerung, daß ſich der Erdkern noch gegenwärtig in einem geſchmolzenen Zuſtande befinde und nur mit einer feſten Kruſte überzogen ſey. Im geſchmolzenen Zuſtande mußte wohl die Erde ohne Erhöhungen und Vertiefungen ſeyn und das etwa auf ihr befindliche Waſſer konnte bei ſo hoher Temperatur nur unter einem mächtigen Drucke beſtehen, zu deſſen Erzeugung die vorhandene heiße Dunſtmaſſe ſelbſt das Meiſte beitragen konnte. So wie aber der Proceß des Feſtwerdens begann, mußten ſich durch den Kryſtalliſationsproceß Erhöhungen, mithin auch Vertiefungen bilden, wie wir dieſes an geſchmolzenen, geſtehenden Maſſen ſo häufig im Kleinen bemerken. Somit liegt der Grund zur Entſtehung der Unebenheiten der Erde im Abnehmen ihrer Temperatur. Die Urgebirge mögen das Product des erſten Kryſtalliſationsproceſſes geweſen ſeyn, auf welche ſich dann die ſpäteren (Flötz-) Gebirge aus dem Waſſer abſetzten.

168. Die Beſchaffenheit, Lagerungsweiſe, Menge und Mannigfaltigkeit der in Flötzgebirgen vorkommenden, organiſchen Überreſte und die Lagerung der Schichten dieſer Formationen zeigen deutlich, daß hier mehr als ein ruhiges Abſetzen aus Waſſer im Spiele geweſen ſey. Die Schichten dieſer Gebirge befinden ſich in ebenen Gegenden in faſt horizontaler Lage, in der Nähe von bergigten Gegenden liegen dieſe Schichten geneigt, an den Abhängen der Berge beinahe oder völlig vertical. Wären ſolche Schichten in verticaler Lage vom Waſſer abgeſetzt worden, etwa ſo, wie ſich noch heut zu Tage Stalactiten an verticalen Wänden aus Waſſer abſcheiden; ſo müßten dieſe Lagen, wenn ſie an zwei Bergen vorhanden ſind, in allen Zwiſchenpuncten in gleicher Höhe gefunden werden. Dieſes iſt aber nicht der Fall. Die Kalkſchichten des hohen Buet in Savoyen und des Montperdu ſind gleichzeitige Formationen mit jenen an den Küſten des Canals, und doch erſtrecken ſich ſolche Formationen im nördlichen Frankreich nicht über 600 Fuß. Ferner liegen nach Sauſſure's Beobachtungen die eiförmigen Kieſelgeſchiebe, welche ſich oft in den Flötzgebirgen befinden, dort wo die Schichten eine horizontale Lage haben, ſtets ſo, daß ihre große Axe horizontal iſt, mithin in ihrer ſtabilſten Lage, wo aber die Erdſchichten geneigt ſind, da ſind auch die großen Axen alle Geſchiebe, welche in der Richtung dieſer Neigung liegen, eben ſo geneigt und nur jene trifft man noch mit der großen Axe in horizontaler Lage an, bei denen dieſe Axe mit der Ebene der Neigung einen rechten Winkel

machen. Dieſe Gründe machen es höchſt wahrſcheinlich, daß ſelbſt, nachdem die Erdkruſte ſchon gebildet war, noch durch den fortgeſetzten Erſtarrungsproceß neue Berge aus dem Innern der Erde emporgeſtiegen ſeyen und die Kruſte durchbrochen haben. Dieſe Hypotheſe hat ſo viel innere Wahrſcheinlichkeit und wird von ſo vielen äußeren Gründen unterſtützt, daß ſie gegenwärtig faſt allgemein von Geologen angenommen wird. Man kann daraus nicht blos das Vorkommen dicker Muſchellagen auf den Gipfeln der höchſten Berge leicht begreifen, da dieſe einſt tief liegender Meeresboden waren, ſondern auch das relative Alter der einzelnen Gebirge nachweiſen, wie dieſes Beaumont mit Glück an vielen Gebirgen gethan hat. Denn es iſt klar, daß ſolche Emporhebungen zu verſchiedenen Zeiten eingetreten ſeyn können, und daß jene Flötzgebirge, deren Schichten an den Abhängen der Gebirge nicht in horizontaler Lage vorkommen, bei der Erhebung der Gebirge ſchon vorhanden waren, mithin älter ſeyen als dieſe; jene aber, die ſich in horizontaler Lage bis zum Fuß der Gebirge erſtrecken, müſſen von jüngerer Bildung ſeyn, als die Gebirge. Dieſen Kriterien gemäß ſind das ſächſiſche Erzgebirg, der Côte d'Or in Burgund und der Mont Pilas in Forez unter den von Beaumont unterſuchten Gebirgen die älteſten, weit jünger iſt das Bergſyſtem der Pyrenäen und Apenninen, noch jünger jenes der öſtlichen Alpen mit dem Montblanc. Der Hauptgebirgsſtock der Alpen, mehrere Ketten der Provence, der Balkan, der Caucaſus, die Himalayagebirge und der Atlas ſind viel ſpäteren Urſprunges. Merkwürdig iſt es, daß die gleichzeitig entſtandenen Gebirge ſtets in einem größten Kreiſe der Erde liegen und daß demnach auch die Puncte des kleinſten Widerſtandes dieſelbe Lage haben mußten. Dieſen Umſtand benützte Beaumont, um darnach das Alter jener Gebirgsketten zu beſtimmen, an denen er den Prüfſtein des oben angegebenen directen Kennzeichens ihres Alters nicht anlegen konnte, und ſo iſt er dahin gelangt, dreizehn einzelne Emporhebungen anzunehmen.

169. Noch keine der, in ungeheurer Anzahl aufgeſtellten geologiſchen Hypotheſen hat ſich ſo reich an leichten und naturgemäßen Folgerungen dargeſtellt, wie die eben genannte. Es iſt klar, daß die Emporhebung eines Gebirges aus dem Innern der Erde deſto mehr Kraft fordern, aber auch ein deſto größeres Product liefern müſſe, je dicker die bereits gebildete Erdkruſte zur Zeit dieſer Kataſtrophe wär, mithin je ſpäter ſich dieſelbe ereignete, und in der

That ſind die jüngeren Gebirge auch die höchſten. Daß bei ſolchen Ereigniſſen ein vielfaches Berſten und eine Theilung der emporgehobenen Maſſen eintreten mußte, iſt nicht zu bezweifeln und daher mögen viele Thäler ihren Urſprung haben. Man braucht nun nicht mehr zu fragen, wie denn die im Jura angetroffenen Granitſtücke von den Alpen durch das Thal der Aar an ihren jetzigen Platz kommen konnten; denn das Juragebirge iſt jünger als die Alpen und das Thal der Aar. Daß an der Stelle ſolcher gewaltiger Naturereigniſſe Thiere ſchnell und in Maſſe zu Grunde gehen mußten, iſt leicht zu errathen und daraus begreift man wohl, warum man ganze Neſter von Thieren in Lagen antrifft, die deutlich zeigen, daß dieſelben eines ſchnellen Todes geſtorben ſeyen, wie z. B. Fiſche, die ganz ausgeſtreckt, oft noch den Raub feſthaltend oder mit der jüngſt verſchlungenen Beute im Magen, angetroffen werden. Erhebungen des feſten Landes aus dem Meere mußten nothwendig das Gleichgewicht des Waſſers ſtören, weit ausgedehnte Überſchwemmungen hervorbringen und hiermit mittelbar die Wirkungen erzeugen, welche mit Überſchwemmungen ſtets verbunden ſind. Daß die mit der fortſchreitenden Erkältung der Erde nothwendig verbundene Rückkehr des bei ihrer urſprünglich hohen Temperatur in Dünſte verwandelten Waſſers zu ähnlichen Cataſtrophen den Grund legen konnte, iſt einleuchtend. Das unläugbare Factum der Emporhebungen der Urgebirge läßt nun wohl begreifen, daß die Bildung der Gänge durch Emporſteigen der fremdartigen Maſſen nicht durch eine Infiltration von Oben erfolgt ſeyn müſſe.

(Phyſiſche Erdbeſchreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's phyſiſche Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förſter's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine phyſikaliſche Erdbeſchreibung, von Hochſtetter. Stuttgard 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phyſiſchen Welt von J. G. Sommer. Prag 1818 — 1825. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruſte). Lehrbuch der mathem. u. phyſ. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathematiſchen und phyſiſchen Geographie nebſt Atmoſphärologie von Dr. G. W. Muncke. Heidelberg 1830. Handbuch der phyſikaliſchen Erdbeſchreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geſchichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. *De la Metherie leçons de Géologie. Paris* 1816. Bakewell Einleitung in die Geo-

logie ꝛc. Freiberg 1815. Reichetzer Anleitung zur Geognoſie. Wien 1821. D'Aubuiſſon Geognoſie. Dresden 1821. Neues Syſtem der Geologie von A. Ure 1830. *Elemens de Geologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris* 1831. *A. Geological Manual by H. De le Beche. London* 1831. *A System of Geology by J. Macculloch. London* 1831. *Principles of Geologyby Ch. Lyell. London* 1830.)

Dritter Abſchnitt.

Meteorologie.

---

170. Die Atmoſphäre unſerer Erde iſt beſtändig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr geſtört, weil bald dort bald da eine Änderung in der Ausdehnſamkeit der Luft vorgeht und auch durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Beſtandtheile der Atmoſphäre beſtändig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig ſind. Dazu kommen noch diejenigen Erſcheinungen im Luftkreiſe, welche durch das Licht, die Electricität und vielleicht auch durch manche unſeren phyſikaliſchen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Dieſe Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verſchiedenem Grade der Geſchwindigkeit auf einander und machen zuſammen die Witterung oder, wie man zu ſagen pflegt, das Wetter aus. Die Erſcheinungen des Luftkreiſes auf erkannte Naturgeſetze zurückzuführen, iſt der eigentliche Gegenſtand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognoſie (Meteoromantie) oder der Kunſt, die Witterung vorherzuſagen, verwechſeln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die ſich überdieß meiſtens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erſtes Kapitel.

Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt.

171. Es iſt aus den Geſetzen des Gleichgewichtes der Gaſe (*I.* 199) bekannt, daß die atmoſphäriſche Luft im Zuſtande der Ruhe die Erde wie eine Hohlkugel umgebe und bis zu jener Höhe reiche,

wo die Schwere jedes Theilchens ſeiner abſtoßenden Kraft das Gleichgewicht hält. Um dieſe Höhe berechnen zu können, müßte man die Temperatur an der Oberfläche der Erde und das Geſetz, nach welchem ſie ſich nach Oben ändert, kennen. Leider iſt man über dieſes Geſetz nicht ganz im Reinen, doch ſtimmen faſt alle Phyſiker darin überein, daß die Temperatur nach Oben entweder in demſelben Verhältniſſe abnehme, nach welchem die Entfernung von der Erde wächſt, oder daß die Temperaturen von Unten nach Oben, für gleiche Höhenunterſchiede, wie die Glieder einer geometriſchen Reihe abnehmen. Die größere Wahrſcheinlichkeit liegt vielleicht auf Seite des letzteren Geſetzes. Schmidt hat die Höhe der Atmoſphäre für beide Annahmen und für die Vorausſetzung berechnet, daß die Temperatur für eine Erhebung von 121.1 Toiſen um 1° *R.* abnimmt. Er findet nach der erſten Annahme für die Äquatorialgegend, wo bei einem mittleren Barometerſtande von 337.3 P. L. der mittlere Thermometerſtand + 22°.4 *R.* iſt, die Höhe der Atmoſphäre = 27631 Toiſen = 7.22 geogr. Meilen, hingegen für die Stelle der Erde, wo bei einem gleichen mittleren Barometerſtande die Temperatur = 0° iſt, 25128 T. = 6.6 g. M. Für die zweite Annahme findet er die Höhe der Atmoſphäre am Äquator = 104975 T. = 27.5 g. M., und an der Stelle, wo die mittlere Temperatur = 0° *R.* iſt, 103518 T. = 27.1 g. M. Für welche von den beiden Höhen der Atmoſphäre man ſich auch erklären mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß dieſe Höhe vom Äquator gegen die Pole zu abnimmt und daß die angegebenen Zahlen nur die Grenzen bezeichnen, innerhalb welchen die beſtändig bewegte Luft ihre Schwankungen macht. (Gilb. Ann. 62. 309. Zeitſch. 8. 420.)

172. Den genannten Geſetzen des Gleichgewichtes gemäß ſollte die Atmoſphäre von Oben nach Unten an Dichte und Expanſivkraft zunehmen und daher an der Erdoberfläche die größte Dichte beſitzen. Allein dieſes Geſetz wurde für den Fall einer allenthalb gleichen Temperatur entwickelt und muß daher in der Wirklichkeit, wo beinahe jede Luftſchichte eine andere Temperatur hat, große Ausnahmen erleiden. Insbeſondere iſt klar, daß die Dichte der Luft wegen des nach Oben abnehmenden Druckes abnehmen, wegen der nach Oben abnehmenden Temperatur aber wachſen ſoll. In der Regel iſt zwar die erſtere Wirkung die überwiegende und daher die Luft Oben dünner als Unten, es gibt aber doch Fälle, wo das Gegentheil Statt findet. Daß der Luftdruck bei gleicher Entfernung vom Centrum der

Erde nicht derſelbe ſey, wie es die Geſetze des Gleichgewichtes verlangen, iſt ſchon früher geſagt worden. Sehr wichtige Erſcheinungen bringt das in der Luft befindliche Waſſer hervor, indem es das auffallende Licht mannigfaltig modificirt und auch auf die Erwärmung und Erkaltung der Erde einen großen Einfluß ausübt, ja ſogar zur Entwickelung der Luftelectricität beiträgt, durch welche die impoſanteſten Erſcheinungen hervorgebracht werden. Alle dieſe Veränderungen der Luft beſtimmen das Clima eines Ortes.

Zweites Kapitel.

Veränderungen der Beſtandtheile der Atmoſphäre.

173. Die Hauptbeſtandtheile der Atmoſphäre ſind bekanntlich Sauerſtoffgas, Stickgas, Kohlenſäuregas und Waſſerdünſte, es kommen aber überdieß örtlich noch manche andere Stoffe, wie z. B. nach Witting (Kaſt. Arch. 5. 189) freie Salzſäure, ſalzſaurer Kalk, Kohlenwaſſerſtoff, organiſche Subſtanzen darin vor. Bei Gewittern hat man auch Salpeterſäure in der Luft gefunden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieſe Stoffe nur als Gemengtheile neben einander exiſtiren, ohne mit einander chemiſch verbunden zu ſeyn; denn ein mechaniſches Gemenge dieſer Stoffe nach dem in der Atmoſphäre vorhandenen Verhältniſſe zeigt genau dieſelben Eigenſchaften, welche man in der atmoſphäriſchen Luft bemerkt, z. B. daſſelbe ſpecifiſche Gewicht, daſſelbe Lichtbrechungsvermögen, und ihre gleichförmige Mengung iſt ganz den Geſetzen des Gleichgewichtes der Gaſe gemäß (*I.* 204). Hingegen bemerkt man an der atmoſphäriſchen Luft keine jener Eigenſchaften, welche die chemiſchen Verbindungen von Stickſtoff mit Sauerſtoff charakteriſiren, ja das Verhältniß dieſer zwei Stoffe in der Atmoſphäre widerſpricht den ſtöchiometriſchen Geſetzen geradezu.

174. Die Beſtandtheile der Atmoſphäre ſind beſtändigen Veränderungen unterworfen. Durch Verbrennen, Fäulniß, Gährung und durch das Athmen der Thiere wird beſtändig Sauerſtoffgas verzehrt, durch das Leben der Pflanzen, durch Gährung und Verbrennen fortwährend Kohlenſäuregas entwickelt, das Waſſer ver-

dünſtet faſt ununterbrochen. Dieſe Veränderungen gehen allerdings nur in den unteren Schichten der Atmoſphäre vor, aber weil ihre Beſtandtheile nur mit einander gemengt ſind, ſo exiſtiren ſie unabhängig von einander, jeder ſteht nur mit ſich ſelbſt im Gleichgewichte und der örtliche Abgang oder Überſchuß eines Theiles wird durch die Umgebung ausgeglichen. Daher muß jede Veränderung in den unterſten Schichten auch auf die oberen wirken und demnach ein beſtändiges Beſtreben herrſchen, allenthalben eine gleichförmige Mengung der Beſtandtheile der Atmoſphäre zu erzeugen. Deßungeachtet kann einer oder der andere dieſer Beſtandtheile an einem Orte ein relatives Übergewicht bekommen, weil der Abfluß, welcher zur Herſtellung des Gleichgewichtes nothwendig iſt, durch mechaniſche Hinderniſſe, wie z. B. durch entgegengeſetzte Luftſtröme, durch andere Gaſe, durch verminderte Communication verzögert wird. Daher kommt es, daß das Kohlenſäuregas und die Waſſerdünſte in den unteren Regionen in verhältnißmäßig größerer Menge vorhanden ſind, als in den oberen, und daß in Kellern, Brunnen, verſchloſſenen Gängen ꝛc. die Luft nicht ſelten entweder wegen zu geringem Sauerſtoffgehalte unathembar oder durch ſchädliche Gaſe wie z. B. durch Kohlenwaſſerſtoff-, Schwefelwaſſerſtoff-, Kohlenſäuregas vergiftet iſt.

Hieraus wird erſichtlich, daß man nur mit Vorſicht Orte betreten darf, wo man einen Abgang an Sauerſtoffgas oder die Gegenwart ſchädlicher Gaſe zu befürchten Grund hat. Ein Licht an einer Stange vor ſich herzutragen und ſich durch das Erlöſchen desſelben an die Rückkehr mahnen zu laſſen, ſichert nicht immer gegen Unglück; denn lichtverlöſchend und unathembar ſind zwei ſehr verſchiedene Eigenſchaften. Es gibt Luftarten, in denen die Lichter vorzüglich brennen und doch Menſchen erſticken, und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menſchen leben können. Glücklicher Weiſe kommen die erſteren ſeltener vor, als die letzteren. Atmoſphäriſche Luft kann $\frac{1}{10}$ Kohlenſäuregas dem Volumen nach enthalten, ohne ſchädlich zu werden, $\frac{1}{250}$tel Schwefelwaſſerſtoffgas der atm. Luft beigemengt, tödtet nach Thenard ſchon ein Pferd, $\frac{1}{800}$tel einen Hund von mittlerer Größe, $\frac{1}{1500}$tel einen Vogel auf der Stelle. (Über die unterirdiſchen Gasarten ꝛc. von A. v. Humboldt. Braunſchweig 1799. Zeitſch. 4. 235.)

175. Unter den Beſtandtheilen der atmoſphäriſchen Luft ſind die Waſſerdünſte und das Kohlenſäuregas allein bald in größerer, bald in geringerer Menge vorhanden, während Sauerſtoffgas und

Stickgas ſtets in demſelben Verhältniſſe vorkommen; doch darf man dabei nicht vergeſſen, daß die Mittel, welche uns zur Prüfung des Waſſer- und Kohlenſäuregehaltes der Luft zu Gebote ſtehen, weit empfindlicher ſind, als jene, mittelſt welcher wir die atmoſphäriſche Luft auf Sauerſtoff prüfen. Nach Th. v. Sauſſure beträgt der Kohlenſäuregehalt der atmoſphäriſchen Luft im Mittel = 0.0415 p. C. dem Volumen nach, derſelbe iſt in trockenen Tagen größer als nach einem Regen, weil das Regenwaſſer einen Theil dieſes Gaſes aufnimmt, bei anhaltender Sommerhitze und bei anhaltendem Froſte (der größeren Trockenheit wegen) größer, als in mäßig warmen und feuchten Tagen, über Waſſer kleiner als über dem feſten Lande, in Städten größer als auf dem Lande, auf Bergen größer als in Ebenen und bei windigem Wetter größer als bei Windſtille. Es ſcheint ein periodiſches Wachſen und Abnehmen des Kohlenſäuregehaltes der Luft Statt zu finden und zwar fand Sauſſure, daß zu Genf und in der Umgebung in der Mitte des Tages das Minimum, gegen Ende der Nacht das Maximum der Kohlenſäure vorhanden ſey, daß dieſelbe in den letzten Stunden der Nacht am ſchnellſten wachſe, in den erſten des Tages am ſchnellſten abnehme. Auf Bergen ändert ſich der Kohlenſäuregehalt durch den Einfluß der Nacht gar nicht, in Städten wächſt er des Nachts minder als auf dem Lande. (Sauſſure in Gilb. Ann. 54.217; Zeitſch. 5. 356; 8. 341.) Wie veränderlich der Waſſergehalt der Luft ſey, iſt ohnehin bekannt. Nach Dalton halten die in der Luft befindlichen Dünſte bald einer Queckſilberſäule von 0.1 Z., bald einer Säule von 0.6 Z. das Gleichgewicht und es kommt daher auf Rechnung der Dünſte $\frac{1}{188}$ bis $\frac{1}{30}$, alſo im Mittel der 100te Theil des ganzen Druckes der Atmoſphäre. Demnach betragen die in der Luft enthaltenen Gaſe und Waſſerdünſte

	dem Volumen nach	dem Gewichte nach	Druck in Zollen beiläufig
Sauerſtoffgas	0.2100	0.2308	6.668
Stickgas	0.7796	0.7624	22.031
Kohlenſäuregas	0.0004	0.0006	0.017
Waſſerdünſte	0.0100	0.0062	0.179
	1.0000	1.0000	28.895

Drittes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erde.

176. Der Zuſtand der Wärme der Erde und ihrer Atmoſphäre hat auf das Gedeihen der Gewächſe und auf das Leben der Thiere, ja ſelbſt auf das Befinden des Menſchen einen ſo großen Einfluß, daß es wohl der Mühe werth iſt, die Vertheilung der Wärme und den jedem Erdſtriche zu jeder Zeit eigenen Wärmegrad, ſo weit es der Zuſtand unſerer Kenntniſſe geſtattet, aus den bekannten Naturgeſetzen zu erklären, um ſo mehr als durch den Wärmezuſtand das Clima eines Landes vorzüglich characteriſirt wird und die meiſten übrigen, climatiſchen Verhältniſſe, wie z. B. Trockenheit und Feuchtigkeit, Luftdruck und Luftſtröme ꝛc. durch die Wärme bedingt werden. — Bekanntlich unterliegen ſowohl die Temperatur der Erdoberfläche als auch jene der ihr nahen Luftſchichten bedeutenden Veränderungen und dieſe bieten zwei Perioden dar, wovon eine täglich, die andere jährlich wiederkehrt; ſie ſtehen mit der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde, mithin mit dem Stande der Sonne gegen die Erde in der innigſten Verbindung. An verſchiedenen Orten ſind weder die in den einzelnen Perioden vorfallenden Schwankungen der Temperatur, noch ihr mittlerer Zuſtand von gleicher Beſchaffenheit, und man unterſcheidet insbeſondere auf der ganzen Erde fünf Zonen oder Erdgürtel, welche in dieſer Beziehung characteriſtiſche Unterſchiede darbieten, nämlich eine heiße Zone zwiſchen den beiden Wendekreiſen, zwei gemäßigte zwiſchen jedem Wendekreiſe und dem Polarkreiſe derſelben Erdhälfte und zwei kalte von jedem Polarkreiſe bis zum entſprechenden Pole.

177. In der heißen Zone zerfällt das Jahr in zwei Jahrszeiten, nämlich in die trockene, heiße Jahrszeit, und in die Regenzeit. Wenn die Mittagsſonne dem Zenith nahe rückt und mit ihrem glühenden Strahle die Pflanzenwelt zu vertilgen droht, überzieht ſich der Himmel mit trübem Gewölke, es beginnt der tropiſche Regen, der mit Ausnahme einiger Tage und Stunden mehrere Monate anhält. Dieſe Erſcheinung fällt zu beiden Seiten des Äquators in entgegengeſetzte Zeiten des Jahres. Sie fängt an der Nordſeite des Äquators deſto früher an, je geringer die Breite des Ortes iſt, und rückt daher von Süden nach Norden fort; auch dauert

ſie deſto länger, je früher ſie vor dem höchſten Sonnenſtande eintrat. Characteriſtiſch iſt für dieſe Zone der geringe Unterſchied zwiſchen der Winter- und Sommerwärme.]

Die Regenzeit beginnt an der Küſte von Guinea im April oder Mai, tiefer im Lande im Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal im Juni oder Juli. In Braſilien iſt die Wintertemperatur 13°—18° *R.*, die Sommerhitze 18°—28°. In Cumana (10° 27′ n. B.) beträgt die mittlere Temperatur des heißeſten Monates 29° 1 *C.*, die des kälteſten 26°.2, mithin die Differenz nur 2°.9 *C.*, während dieſe in Deutſchland nahe 60° *C.* beträgt.

178. Die Länder der gemäßigten Zonen haben vier Jahrszeiten, die bekanntlich durch die Namen Frühling, Sommer, Herbſt und Winter bezeichnet werden. In dieſen Gegenden ſteigt im Sommer die Wärme nicht ſelten ſo hoch als im heißen Erdgürtel, aber dafür ſinkt ſie im Winter tief unter die geringſte Temperatur der heißen Zone. Der Unterſchied zwiſchen der höchſten und niedrigſten Temperatur wächſt in der Regel mit der Breite eines Ortes. Länder, welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keinen rauhen Winter, der die Fluren tödtet, ſondern nur Tage, wie wir ſie im Frühlinge oder Herbſte erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt nur eine ſehr kurze Friſt. So z. B. dauert in Egypten der heiße Sommer vom April bis November, dann löſet ihn eine wahre Frühlingszeit ab. Nicht minder mild iſt der Winter in Sicilien, Malta, im ſüdlichen Spanien, auf den canariſchen Inſeln, in Südcarolina, Georgien und Louiſiana, am Rio della Plata, auf den Südſeeinſeln u. ſ. f. Je weiter man ſich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, deſto gleichmäßiger theilen ſich die vier Jahrszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbſtes verſchlingt. Es erreicht zwar der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze, ſo daß Pflanzen vom Keimen bis zur Reife nur etwa 6 Wochen brauchen, die bei uns kaum in drei Monaten eben ſo weit gebracht werden können. Dafür iſt dieſe Zeit nur kurz und der ſchnell einbrechende Winter ſo heftig, daß die meiſten Flüſſigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erſtarrt, alle Vegetation erſtirbt und nur wenige Thiere, ſo wie der überall ausdauernde Menſch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

In Deutſchland hat man (am 31. Dec. 1783 und am 31. Jänner 1784) — 31°.2 *C.* beobachtet und in Wien ſtieg an der Sternwarte (am 8. Juli 1819) das Thermometer auf 36°.9 *C.* Nach Gieſecke (Scholz Phyſik 3. Aufl. S. 552) war die niedrigſte innerhalb 7 Jahren auf Grönland beobachtete Temperatur — 42°.5 *C.* die höchſte aber + 31°.25. In Petersburg hatte man (1772) eine Winterkälte von — 38°.8 *C.* und (1788) eine Sommerhitze von 33°.4. Selbſt in Abo beobachtete Leche eine Temperatur von 34°.2. In Paris beobachtete man (6. Febr. 1665) — 21°.2 und (am 28. Juli 1793) eine Hitze von 38°.4 *C.*

179. In der kalten Zone zerfällt das ganze Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günſtigeren Verhältniſſen desſelben Theil, aber weiter davon kann die Sonne ſelbſt bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftſchichten, welche die ſchief einfallenden Lichtſtrahlen durchwandern müſſen, bevor ſie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um ſo mehr, als die meiſte Wärme zum Schmelzen des Eiſes verwendet wird. Über 70° n. B. hinaus ſteigt das Thermometer ſelbſt im Sommer ſelten über den Eispunct und zwiſchen 79 — 80° n. B. ſchmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

Capitän Parry fand im Jahre 1819 in der Davisſtraße und Baffinsbai im Juli die höchſte Temperatur = 7°.7 *C.*, die geringſte — 3°.3, auf der Inſel Melville (Breite 74° ¾) im Auguſt die größte Wärme 17°.2, die kleinſte — 5°.5. In Spitzbergen (Breite 79°) ſoll in den Wintermonaten die Temperatur faſt immer zwiſchen — 35° und — 37° *C.* ſchwanken und im Sommer nur ſelten über 4°.5 *C.* ſteigen. Im Winter bilden ſich in dieſen Gegenden die ungeheuren Eisfelder, welche die Polarmeere bedecken und oft einige hundert Meilen im Umfange haben, wohl auch die ſogenannten Eisberge, die oft mit ungeheurem Getöſe ſtückweiſe ins Meer ſtürzen, fortſchwimmen, und beſonders, wenn ſie die Sonne brüchig gemacht hat, den Schiffen große Gefahr bringen. (Gilb. Ann. 62. 1.)

180. Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieſe Verſchiedenheiten in der verſchiedenen Einwirkung des Sonnenlichtes ihren Grund haben. Die Oberfläche der Erde wird durch die Sonnenſtrahlen unmittelbar erwärmt, indem ſie dieſelben abſorbirt, und dieſe

Erwärmung muß natürlich bei gleichen Umſtänden deſto größer ausfallen, je länger die Einwirkung der Sonne anhält, je dichter und je weniger ſchief ihre Strahlen auffallen. Der Luft wird aber dieſe Wärme auf verſchiedene Arten mitgetheilt. Erſtens verſchluckt ſie einen, wenn auch nur geringen Theil der einfallenden Sonnenſtrahlen und erwärmt ſich dadurch, 2) ſtrahlt die erwärmte Erde ihre Wärme gegen die Luft aus und theilt ihr dadurch eine höhere Temperatur mit, endlich 3) erhalten die der Erde zunächſt liegenden Luftſchichten auch von der Erde unmittelbar Wärme. Alle dieſe Umſtände machen, daß, wenn die Erwärmung der Erde durch die Sonne nicht gar zu raſch und zu heftig vor ſich geht, die Temperatur der Erde jener der nächſten Luftſchichten nahe gleich iſt.

181. Es liegt in der Natur der Quellen, aus denen der Luft Wärme zufließt, daß ihre Temperatur nach Oben abnehmen muß. Die Luft kann nämlich deſto weniger Licht abſorbiren und ſich dadurch erwärmen, je dünner ſie iſt, die von der Erde ausſtrahlende Wärme wird die oberen Schichten weniger treffen und von ihnen weniger aufgenommen werden, die Mittheilung von der Erde aus wirket auf die oberen Luftſchichten gar nicht und durch die von der Berührung der unteren und oberen Luftſchichten unter ſich herrührende Erwärmung muß immer geringer werden, je weiter aufwärts es geht, endlich fällt die reichlichſte Quelle der Erwärmung, welche von den aufſteigenden warmen Luftſtrömen herrührt, in den oberen Regionen dürftig aus, weil ſich die Luft beim Aufſteigen in denſelben zu ſehr ausdehnt und ſchon deßhalb bedeutend erkaltet. Es wäre wichtig das Geſetz zu kennen, nach welchem die Temperatur gegen Oben abnimmt, bis jetzt iſt man aber noch zu keinem ganz ſicheren Reſultate gelangt, es hat vielmehr den Anſchein, als fände für verſchiedene Localitäten in verſchiedenen Jahrs- und Tagszeiten auch ein verſchiedenes Geſetz der Wärmeabnahme nach Oben Statt.

Folgendes ſind die Höhen in P. F., um die man, nach Beobachtungen, an den beigeſetzten Orten ſteigen muß, damit die Temperatur um 1° *C.* ſinke. *H* bedeutet Humboldt, *G L* Gay-Luſſac, *R* Ramond, *D* Dalton, *S* Sauſſure.

Coffre de Perotte *H* .	569.6	Quito *H*	750
Silla de Carracas *H* .	591.2	Mexico *H*	774
Fuerta de la Cuchilla *H*	569.6	Popayan *H*	780
Quadaloupe *H* . , .	598.7	Bogota *H*	786
Pic v. Teneriffa *H* . .	571.7	Paris *G L*	533.5
Nevado de Toluca *H*	613.4	Ätna *S*	547
Pichincha *H*	622.3	Alpen *R*	538
Chimboraço *H* . . .	629.9	England *D*	408

Hieraus ſieht man, daß die Wärme auf Plateau's langſamer abnimmt, als in tieferen Gegenden. Nach D'Aubuiſſon iſt die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge, für die einzelnen Monate in Metern wie folgt: Jänner 221, Febr. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, Auguſt 149, Sept. 164, Oct. 241, Nov. 201, Dec. 245; im Mittel 203 M. = 624 P. F. Sauſſure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verſchiedenen Stunden: Mittags 148, 2 U. 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 161.3 M. = 496 P. F. Bei Gay-Luſſac's berühmter Luftfahrt ſtand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°.75 (in 5002 M. Höhe auf 5°.25, in 5675 M. Höhe auf 0°.5 in 5632 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf — 9°.5, es ſcheint demnach die Wärme näher an der Erdoberfläche langſamer abzunehmen, als in größeren Höhen, in großen Höhen hingegen ſich in arithmetiſcher Progreſſion zu vermindern.

182. Eine genaue Kenntniß des Wärmezuſtandes eines Ortes erlangt man durch Erforſchung der mittleren Temperatur jedes Tages und des ganzen Jahres, und der denſelben entſprechenden Extreme der Temperatur. Die mittlere Temperatur eines Tages iſt eigentlich das arithmetiſche Mittel der Temperaturen aller Zeitabſchnitte, aus denen ein Tag beſteht. Weil ſich aber die Wärme während einer Stunde nicht gar ſchnell ändert, ſo iſt es hinreichend, wenn man zur Beſtimmung der mittleren Tageswärme die Temperatur der Luft an einem Thermometer, das gegen die Sonnenſtrahlen, gegen Wind und Regen und gegen die ſtrahlende Wärme wohl geſchützt iſt, von Stunde zu Stunde beobachtet. Beobachtungen dieſer Art, lange genug fortgeſetzt, führen zur Kenntniß beſtimmter Regeln, nach denen man aus einer ſehr geringen Anzahl zu beſtimmten Stunden angeſtellter Beobachtungen die mittlere Tageswärme erhält. v. Humboldt hat aus mehreren in den Tropenländern und zu Paris angeſtellten Beobachtungen abgenommen, daß die Temperatur bei Sonnenuntergang der mittleren Tageswärme nahe gleich komme; allein Kämtz findet aus den zu Padua und zu Leith angeſtellten Beobachtungen, daß die ſo gefundene Temperatur von dem wahren Mittel zu ſtark abweiche, als daß man ſie in allen Fällen als brauchbar anſehen könnte. Näher ſtimmt ein anderes von Humboldt empfohleres Verfahren mit der Wahrheit überein, nach welchem durch das arithmetiſche Mittel aus der höch-

ſten und niedrigſten Temperatur die beabſichtigte Temperatur erhalten wird, und wenn auch nach Kämtz und Carlini auch dieſe Regel nur ein beiläufig richtiges Reſultat gibt, ſo kann ſie doch durch eine Correction zum wahren Mittel der täglichen Temperatur führen. (Siehe Suppl. S. 702.)

Fände die mittlere Temperatur ſelbſt täglich zu derſelben Stunde Statt, ſo wäre es wohl am zweckmäßigſten, gerade zu dieſer Stunde zu beobachten und man erhielte auf einmal das erwünſchte Reſultat und dürfte auch die Stunde nicht mit aller Strenge einhalten, weil ſich zu dieſer Zeit die Wärme nur langſam ändert, allein das tägliche Mittel tritt nicht immer und allerwärts zu derſelben Zeit ein. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angeſtellten, ſtündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestemperatur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um 11½ Stunden von einander abſtehen. Nach Brewſter gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Reſultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr früh und um 2 Uhr und 9 Uhr Abends, wenn dieſes nach den Beſtimmungen der Manheimer meteorologiſchen Societät zu geſchehen] hatte, ſo erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel

$$t = \frac{VII + II + 2IX}{4}$$

wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwiſchen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Obſervatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, ſo iſt die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben:

$$t = \frac{7\,VIII + 7\,III + 10\,X}{24}$$

Jener Regel gemäß ſollte auch das Mittel aus 2 um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen ſich dazu beſonders gut 4 Uhr Morgens und Abends und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieſer Regel vorgenommenen Proben fand ich ſie faſt immer bis auf 0°.1 *C.* genau. (Kämtz in Schweigg. J. 48. 1. *Humboldt sur le ligne isoth. p.* 491 u. f.)

183. Das arithmetiſche Mittel aus allen mittleren Tagestemperaturen eines Jahrs gibt die **mittlere Jahrestempera-**

tur. Dieſe fällt nach Humboldt nahe mit der mittleren Temperatur des Monats April und October, oder nach Kämtz noch näher mit dem Mittel aus den Temperaturen dieſer zwei Monate zuſammen und iſt ſehr nahe eine beſtändige Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55. 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daſelbſt angeſtellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Reſultate gefunden:

Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Chriſtiania:	3. Mai,	14. =	Rom:	1. Mai,	24. =
Upſala:	22. April,	18. =	Capſtadt:	19. April,	21. =
FortSullivan:	26. =	26. =	FortJohnſton:	21. =	18. =
Mancheſter:	27. =	23. =	Abusheher:	23. =	22. =
Turin:	18. =	26. =			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage anſehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

184. Die täglichen und jährlichen Veränderungen der Wärme erfolgen, den bisher gemachten Erfahrungen gemäß, auf ſolche Weiſe, daß die Zu- und Abnahme der Temperatur nahe nach einerlei Geſetz vor ſich geht und demnach in gleichen Abſtänden vom Zeitpuncte der größten und kleinſten Temperatur derſelbe Wärmegrad Statt findet, wenn nicht beſondere Meteore, wie z. B. regelmäßig wiederkehrende Winde dieſem Geſetze Abbruch thun; doch fällt ſowohl die größte tägliche als die größte jährliche Wärme in verſchiedenen Orten auf verſchiedene Stunden und Tage. In der Regel herrſcht die kleinſte Tagestemperatur kurz (etwa 20 M.) vor Sonnenaufgang und wächſt von da bis zwiſchen 1—3 Uhr Nachm., wo der größte Wärmegrad eintritt. Die größte tägliche Variation herrſcht im Juli, die kleinſte im December. Die geringſte Jahreswärme fällt auf den Jänner, die größte auf den Juli, beide Extreme ſind nahe um 6 Monate von einander entfernt, es ſteigt aber die Wärme vom kälteſten Tage an nicht ohne Unterbrechung bis zum wärmſten und nimmt auch nicht ununterbrochen vom wärmſten bis zum kälteſten ab, ſondern der Übergang von einem Extreme zum anderen erfolgt in mehreren Schwankungen. Dieſes hat vorzüglich Brandes ſchön nachgewieſen. Er hat nämlich für Orte von ſehr verſchiedener Breite aus vieljährigen Beobachtungen die mittlere Wärme für je fünf Tage jedes einzelnen Jahres geſucht und daraus folgende Geſetze des Ganges der Wärme abgeleitet: Die größte

Kälte fällt faſt überall in die erſten Tage des Jänner und vermindert ſich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desſelben Monates, wo eine neue Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieſer Zeit, alſo in der zweiten Hälfte des Februar, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den öſtlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich iſt als in den weſtlichen und ſüdlichen. Brandes zeigt, daß ſie durch einen Luftſtrom erzeugt werde, der aus dem aſiatiſchen Eismeere oder dem nordöſtlichen Rußland kommt und wahrſcheinlich durch die erwärmende Wirkung der zu dieſer Zeit in dieſen Gegenden gerade aufgehenden Sonne hervorgebracht wird. Nachdem dieſe vorüber iſt, fängt die Temperatur allmälig zu ſteigen an und wächſt mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Dieſe tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den ſüdlichen ein, weil auch dort die Tage ſchneller wachſen als hier. Von dem Zeitpuncte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab und zwar in den ſüdlichen Gegenden langſamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des Auguſt wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun beſonders in den nördlicheren Gegenden eine ſchnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Octobers, wo mit dem bekannten Nachſommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachſommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Unterſuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1—26.)

Aus den zu Leith in Schottland durch zwei volle Jahre ſtündlich angeſtellten Thermometerbeobachtungen ergibt ſich, daß daſelbſt die Zeit der geringſten Temperatur im Mittel auf 5^h früh, die der höchſten hingegen auf 2^h 40′ Nachmittags fällt, daß die Wärme ſchneller zu- als abnimmt, daß ſie ſich im Sommer regelmäßiger ändert als in den anderen Jahrszeiten. Nach Carlini tritt in Mailand das Maximum der täglichen Wärme im Sommer um 3^h 22′, im Winter um 1^h 21′, N. M., das Minimum hingegen im Sommer um 4^h 4′, im Winter um 5^h 58 früh ein. In Rio Janeiro iſt die Temperatur Vormittags zwiſchen $7—10^h$ am höchſten, ſpäter führt der täglich eintretende Seewind eine erwünſchte Abkühlung herbei und ſtört demnach das allgemeine Geſetz. Die Curve

welche man erhält, wenn man die Stunden des Tages als Abſciſſen, die in denſelben Statt findenden Temperaturen als Ordinaten betrachtet, beſteht aus paraboliſch gekrümmten Stücken. (Kämtz in Schweigg. J. 47. 385. Supp. 701). Nach Bouvard tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die größte Winterkälte am 14. Jänner ein, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solſtitium. Die vom wärmſten Monat Juli gleich weit abſtehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°.48 und 6°.78) und der 5. März hat genau dieſelbe Temperatur wie der 24. Nov. Nach Kämtz fällt die höchſte und geringſte Temperatur des Jahres in nachſtehenden Orten auf die ihnen beigeſetzten Tage:

Enontekis:	20. Jän.,	26. Juli	Padua:	15. Jän.,	26. Juli
Chriſtiania:	17. "	20. "	Rom:	16. "	1. Aug.
Upſala:	16. "	21. "	Capſtadt:	4. Feb.,	6. Juli
Fort Sullivan:	24. "	29. "	Fort Johnſton:	18. Jän.,	21. "
Mancheſter:	12. "	27. "	Abusheher:	12. "	18. "
Turin:	3. "	27. "			

Im Mittel fällt demnach der kälteſte Tag auf den 14. Jänner, der wärmſte auf den 26. Juli.

185. Wenn die Erdoberfläche allenthalben dieſelbe Kraft beſäße, Wärme aus dem Sonnenlichte zu entwickeln und die Erde ohne Erhöhungen wäre, ſo würden alle Orte von gleicher Breite dieſelbe mittlere Temperatur und dieſelbe Sommerhitze und Winterkälte haben und es würden die Linien, welche man durch Orte von gleicher mittlerer Temperatur zieht, nämlich die iſothermiſchen Linien, ſo wie jene, welche durch Orte mit gleicher Sommerhitze und Winterkälte gehen, d. h. die iſotheriſchen und iſochimeniſchen Linien, mit dem Äquator parallel laufen und das Klima wäre eine reine Wirkung der Sonne, d. h. ein Sonnenklima. Mancherlei Umſtände modificiren aber die Wärmeentwicklung und die Wärmeanhäufung und ſtören mithin den Parallelismus der genannten Linien, und zwar erhöhen einige Umſtände die mittlere Temperatur eines Ortes und ertheilen demnach den iſothermiſchen Linien ꝛc. eine Convexität gegen den Pol jener Erdhälfte, wo der entſprechende Orte liegt, andere erniedrigen die mittlere Jahrestemperatur und bewirken demnach, daß die iſothermiſchen iſotheriſchen und iſochimeniſchen ꝛc. Linien gegen den Erdäquator convex werden. Die Urſachen, welche den Parallelismus dieſer Linien unter ſich und mit dem Äquator ſtören, ſind: Die Höhe eines Ortes über dem Meeresſpiegel, die Ausdehnung und

Geſtalt des Landes, die Beſchaffenheit ſeines Bodens, das Übergewicht gewiſſer Winde, die Richtung der ein Land begrenzenden Gebirgsketten und die Diſpoſition der Atmoſphäre zu Gewittern und Waſſerniederſchlägen.

186. Das Waſſer entwickelt aus den auffallenden Sonnenſtrahlen wegen ſeiner großen Reflexionsfähigkeit weniger Wärme als der rauhe und alles Glanzes beraubte Boden des feſten Landes, und erwärmt ſich darum auch langſamer als der Continent. Dafür erkaltet es auch wieder langſamer, weil es wenig Wärme ausſtrahlt, und weil die oberen erkalteten Schichten zu Boden ſinken und durch tiefer liegende, wärmere erſetzt werden. Beim Ocean kommt noch dazu, daß ſo große Waſſermaſſen von ungleicher Temperatur ſtets mit einander communiciren und ſich beſtändig auszugleichen ſuchen. Demnach wird das Seeclima, womit auch jenes der Inſeln und der Küſtenländer dem Weſen nach übereinſtimmt, minder warme Sommer und gemäßigtere Winter haben als das Continentalclima, deſſen Extreme viel weiter von einander abſtehen und das mit Recht exceſſives Clima genannt werden kann. Wegen der großen Gleichförmigkeit der Waſſeroberfläche und dem Mangel an Erhöhungen ſind die Biegungen der iſothermiſchen Linien über dem Meere viel regelmäßiger und ihr Zug nähert ſich mehr dem Parallelismus mit dem Äquator als in großen Continenten. So z. B. ſind dieſe Linien im atlantiſchen Ocean faſt mit dem Äquator parallel, ſo wie ſie aber den Continent der alten Welt berühren, bekommen ſie eine hohle Krümmung gegen den Äquator und erreichen zwiſchen den Meridianen von Paris und Wien ihre größte Abweichung gegen Nord. In der neuen Welt hingegen nähern ſie ſich mehr dem Äquator, werden gegen denſelben convex und in den Parallelen von 30°, 35°, 40°, 45° nördlicher Breite herrſchen in dieſem Continente die mittleren Temperaturen von 19°.4, 16°, 12°.5, 8°.2, während im atlantiſchen Ocean in denſelben Breiten eine mittlere Wärme von 21°.2, 18°.8, 16°.7 und 14° herrſcht.

187. Das feſte Land erwärmt ſich wegen ſeiner Undurchſichtigkeit, Dichte und dem Mangel an Verſchiebbarkeit ſeiner Theile in der Regel ſtärker und ungleichförmiger, erkaltet aber auch ſchnell und mehr als Waſſer. Aus dieſem Grunde haben große Continente einen größeren Wechſel der Wärme, als kleinere Inſeln und Küſtenländer, wie ſich dieſes beſonders in dem größten der Feſtlande, Aſien, deutlich zeigt, deſſen Inneres bei glei-

cher Breite eine größere Sommerhitze, aber auch eine größere Winterkälte hat, als Europa. Daß Länder, welche von Meerbuſen und Binnenmeeren vielfach zerſchnitten ſind, wie z. B. Italien, Griechenland, Indien 2c. mehr den Charakter eines See- als den eines Continentalclima's haben, jene hingegen, welche vom Meere faſt geradlinig begrenzt werden, wie z. B. Africa, Nordaſien, Neuholland, vorzugsweiſe dem Continentalclima anheim fallen müſſen, iſt für ſich klar.

Aus dem Vorhergehenden begreift man leicht, warum das von ſo vielen Meerbuſen durchſchnittene, von zwei Binnenmeeren eingefaßte, weſtliche Europa ein milderes Clima hat, als Aſien. So liegen z. B. Amſterdam und Warſchau, ferner Kopenhagen und Kaſan nahe in demſelben Polarkreiſe und haben doch ſo verſchiedene mittlere Wärmegrade (ſiehe die Tabelle S. 760), noch auffallender iſt die Differenz zwiſchen der größten Sommerhitze und Winterkälte. So hat Pecking einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kaſan hat während eines Theils des Frühlings und Sommers dieſelbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt und deſſen mittlere Temperatur um 9° tiefer iſt als jene von Paris. Von Orleans und Paris bis London, Dublin, Edinburg und Franecker nimmt die mittlere Jahrestemperatur nur ſehr wenig ab, ungeachtet Breitendifferenzen von 4°—6° Statt finden; aber im öſtlichen Europa ſinkt die mittlere Temperatur zwiſchen 45°—55° Breite ſchon bei einer Breitendifferenz von 1° um 0°.62 *C.* Während die mittlere Wärme des Feſtlandes in der Äquatorialzone 27°.7 beträgt, iſt jene des Meeres ebendaſelbſt 25°.5. Das Meer erreicht dort ſelten 28° und nie ſah man die Meerestemperatur über 30°.6, die Luft über dem Meere hat nur ſelten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages ſogar 52°.5 an und den weißen Granitſand an den Waſſerfällen des Orinoco fand Humboldt 60°.3 heiß, während die Luft 29°.6 hatte. Monate lang iſt die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°.5 — 35°, über dem tropiſchen Meere 23°—27°; in Madras, Pondicheri, Oberegypten ſteigt die Wärme der Luft auf 40°—46.°8.

188. Von großem Einfluſſe auf den Wärmezuſtand eines Landes iſt auch die Richtung der größeren Ausdehnung desſelben. Länder der gemäßigten Zone erlangen ſehr günſtige Wärmeverhältniſſe, wenn ſie ſich bis in den heißen Erdgürtel hinein erſtrecken, erleiden aber eine bedeutende Wärmeverminderung, wenn ſie bis zu den Polargegenden hinaufreichen. In jenem Falle wirken nämlich die in dem heißen Clima aufſteigenden, gegen die gemäßigte

Zone hinſtrömenden Luftmaſſen erwärmend auf die letztere ein, in dieſem ſetzen kalte Luftſtröme die Temperatur der gemäßigten Zone mächtig herab. Hierin liegt ein Hauptgrund der beſonders günſtigen Wärmeverhältniſſe Europa's, der viel geringeren Temperatur Nordaſiens und Nordamerika's und der größeren Kälte in der ſüdlichen Halbkugel.

Nur $\frac{1}{6}$ des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf feſtes Land und von dieſem kommen auf Afrika 0.461, auf Amerika 0.301, auf Aſien 0.114 und auf Auſtralien 0.124, es fällt daher der größere Theil des tropiſchen Continentes in die Länder der alten Welt und gerade Europa befindet ſich in jenem Theile desſelben, der ſich in der heißen Zone am meiſten ausbreitet. Aſien und Amerika erſtrecken ſich weiter ins Eismeer hinein als Europa, und innerhalb der Meridiane, die ſie begrenzen, nimmt die See den größten Theil der heißen Zone ein. Die Länder der ſüdlichen Halbkugel laufen gegen Süd faſt ohne Ausnahme in Spitzen aus und haben darum ein Clima von der Natur des Seeclima's mit einem keineswegs heißen Sommer und mit einem mäßigen Winter.

189. Der Zuſtand des Bodens hat auf das Clima keinen geringeren Einfluß als die Geſtalt und Ausdehnung des Landes. Trockener, nackter, beſonders ſandiger Boden erhitzt ſich wegen ſeines großen Abſorptionsvermögens ſehr ſtark und verliert keine Wärme durch Verdünſtung. Cultivirter, mit Pflanzen beſetzter, beſonders waldreicher Boden iſt immer kühler als pflanzenleeres Land, weil durch den Vegetationsproceß viele Wärme gebunden wird, die Sonnenſtrahlen den Boden nicht erreichen können und die Wärmeausſtrahlung von einer größeren Fläche erfolgt. Stagnirendes Waſſer, Seen, Sümpfe und Moräſte, ſo wie große Flüſſe mäßigen, durch ihr geringeres Erwärmungsvermögen, die Sommerhitze und begegnen, wenn ſie tief ſind, auch der Winterkälte, nur in großen Breiten hemmen ſie den frühzeitigen Eintritt der Frühlingswärme. Die ungeheure Sahara iſt aus dieſen Gründen ſo heiß (50°—60°) und ſendet uns darum ſo mächtig wirkende Luftſtröme zu; darum iſt das Clima von Oſtflorida und im ſüdlichen, waldigen Negerlande Afrika's ungeachtet der Nähe des Äquators ſo anmuthig; darum bringt die Ausrottung der Wälder in heißen Gegenden ſo großen Nachtheil. Amerika's Wälder haben einen großen Einfluß auf die vorzugsweiſe große Luftfeuchtigkeit und die gemäßigte Wärme ſelbſt des tropiſchen Theiles dieſes Landes.

190. Länder, welche von kalten Winden häufig heimgeſucht werden, ſind kühler als jene, die durch Gebirge dagegen geſchützt ſind. Wo häufige Gewitter Statt finden, wird auch die Luft häufig abgekühlt und die Hitze gemildert. Europa verdankt ſeine climatiſchen Vorzüge vor Ländern von gleicher Breite und Höhe mitunter gewiß auch den Uralgebirgen, welche die kalten Nordoſtwinde abhalten, und den von den heißen, afrikaniſchen Sandwüſten herbeigeführten Luftſtrömen. Einen großen Einfluß auf die Temperatur eines Landes haben auch die aus fernen Gegenden dahin gelangenden Meeresſtrömungen. Norwegen ſcheint dem Golphſtrome größtentheils ſein gemäßigtes Clima zu verdanken.

191. Außer dem genannten Einfluſſe der Berge, der von ihrer Lage abhängig iſt, wirken ſie auch noch dadurch auf das Clima eines Landes, daß ſie den Sonnenſtrahlen ſehr mannigfaltig geneigte Flächen darbieten, ſich gegenſeitig beſchatten und Nachts wegen ihrer beſonders großen Oberfläche viel Wärme ausſtrahlen. Je höher ein Ort über der Meeresfläche liegt, deſto geringer iſt ſeine Temperatur; doch herrſcht auf Gebirgsebenen ein milderes Clima als in gleicher Höhe auf iſolirten Bergen. A. v. Humboldt hat die Temperaturen unter dem Äquator bei verſchiedenen Höhen mit jenen verglichen, welche an der Meeresfläche unter verſchiedenen Breiten Statt finden, und dieſe Vergleichung durch iſothermiſche Linien vorgeſtellt (Fig. 345). Wenn man ſich von Rio de Guayaquil aus gegen den Gipfel des Chimboraço erhebt, ſo findet man in einem engen Erdraume alle Climate ſchichtenweiſe über einander gelagert und ſieht die Natur auf einer Tagreiſe ſich raſcher verändern, als wenn man tauſend Meilen vom Äquator nordwärts reiſete. A. v. Humboldt traf auf dem Rücken der Anden in einer Höhe von 5060 W. F. über der Meeresfläche das Clima von Algier, bei 8540 F. Höhe das Clima von Florenz an. Man wird offenbar überall, wo ſich hinreichend hohe Berge oder Landhöhen befinden, eine Höhe erreichen, in welcher der Schnee nicht mehr wegſchmilzt. Man nennt ſie die mittlere Schneegrenze. Dieſe Höhe iſt deſto bedeutender, je geringer die Breite eines Ortes iſt, in der Nähe der Pole iſt ſie = 0 ſo, daß dort ſchon an der Meeresfläche alles von ewigem Eiſe ſtarrt, übrigens aber ſehr von Localitäten abhängig. Die Linie, welche die mittleren Schneegrenzen verbindet, iſt nicht etwa diejenige, wo die mittlere Temperatur = 0° *C.* iſt. Am Chimboraço iſt die jährliche mittlere Luftwär-

me an der Schneegrenze = 1°.5, am St. Gotthard — 3°.7, in den Alpen — 4°.5, in der kalten Zone — 6°. Die Schneegrenze folgt überhaupt mehr der Linie einer gleichen Sommerhitze und hängt nicht ſo ſehr von der mittleren jährlichen Temperatur, ſondern von jener des Sommers ab und wird häufig durch Localumſtände, wie z. B. durch die Ausdehnung der betreffenden Höhe, durch die Temperatur der Umgebung, den Feuchtigkeitsgrad der Luft während des Winters, durch die bei eintretendem Sommer vorhandene Schneemenge und durch die Zahl der heiteren und trüben Tage der wärmeren Jahreszeit beſtimmt.

Folgende Tafel gibt die Grenzen des ewigen Schnees nach den neueſten und beſten Beſtimmungen an.

Name	Breite des Ortes	Untere Schneegrenze in Toiſ.	Wärme des ganzen Jahres	Wärme des Sommers
Cordilleras von Quito .	1° bis 1°½ *S*	2460	27°.7	28°.7
» » Bolivia	16°—17°¾ *S*	2670		
» » Mexico .	19°—19°¼° *N*	2350	25.4	27.5
Himalaya nördlicher Abhang	30°¾—31° *N*	2600	22	28
ſüdlicher »		1950		
Kaukaſus	42½—43° *N*	1700		
Pyrenäen	42½—43° *N*	1400	15.2	23.8
Alpen	45¾—46° *N*	1370	13.2	22.6
Karpathen	49°—49¼ *N*	1330	9.2	20
Altai	49 — 51° *N*	1000		
Norwegen, Inneres . .	61 — 62 *N*	850	4.2	16.3
» » . .	67 — 67¼ *N*	600		
» » . .	70 — 70¼ *N*	550	— 3.0	11.2
» Küſten . .	71¼—71½ *N*	366	0.2	6.3

192. Die mittlere Temperatur und jene der einzelnen Jahreszeiten beſtimmen den eigentlichen Wärmezuſtand eines Ortes und von letzterer hängt insbeſondere, bei ſonſt günſtiger Beſchaffenheit des Bodens, der Zuſtand der Vegetation ab, ſo daß man häufig von dieſem Zuſtande auf die Temperatur einen Schluß zu machen im Stande iſt. Paris und London haben faſt dieſelbe mittlere Temperatur (Paris 10°.6, London 10°.2) und doch kommen um Paris viele Gewächſe ſehr gut fort, die um London nicht gedeihen. Ein Land, welches das ganze Jahr hindurch 10° *C.* Wärme hätte, würde nur

wenige Pflanzen zur Reife bringen, während bei derſelben mittleren Temperatur und einer mittleren Sommerwärme von 21° und einer mittleren Winterkälte von — 3°, wie dieſes in Wien der Fall iſt, eine ſehr üppige Vegetation herrſchen kann.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine beſtimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur und kommt daher nur dort fort, wo dieſe herrſcht. So z. B. fordert die Weintraube eine mittlere Temperatur von 8°.7, die Kaſtanie 9°.3, die Olive 13°.1, die Pomeranze 17°, die Kaffehbohne 18°.1, der Zucker 23°.7. Auf der Reiſe von Rio de Guayaquil nach dem Chimboraço trifft man an der Fläche der Südſee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Piſangs; Affen, Jaguare und bunte Papageyen haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P. Fuß gedeihen die tropiſchen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 Fuß finden in kalten beſtändigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern ſparſame Nahrung, aber auch dieſe hören auf, wenn man ſich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachſen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamiſche Gewächſe den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außer wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Weſen beſuchen. Über dieſe Höhe hinaus ſtarrt die Natur vom ewigen Eiſe. (*Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tubingen* 1807. Einen ähnlichen Wechſel der Vegetation bemerkte Buch (deſſen Reiſe nach Norwegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°.25—46°.5, und in Norwegen unter einer Breite von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.			Für Norwegen.		
Weinbaugrenze	in 2432	P. F. Höhe.	Grenze d. Fichten	in 730	F. H.
Nußbaumgrenze	= 3564	= =	= = Birken	= 1483	= =
Kirſchbaumgrenze	= 4164	= =	= = Heidelbeeren	= 1980	= =
Buchengrenze	= 4815	= =	= = *salix myrsinit.*	= 2019	= =
Alpenroſe	= 6840	= =	= = Zwergbirken	= 2576	= =
Schneegrenze	= 8540	= =	Schneegrenze	= 3300	= =

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechſel der Vegetabilien und des Climas in 5 Regionen ein: 1) in die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier ſteht das Thermometer im Mittel auf + 2° *C.*, unten wächſt noch Gerſte, oben nur mit Noth. 2) Kieferregion, welche ſich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erſtreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1,8 *C.*, es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartof-

feln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 F. unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1.4 *C.*; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier ſchmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachſen nur Zwergbirken und *salix myrsinites*; die mittlere Wärme iſt 1° *C.* 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegſchmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachſen, und die kein Lappe mit ſeinem Zelte überſchreitet. (*Wahlenberg flora Lapponica. Berol.* 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

193. Alle bisher angeführten Umſtände zuſammengenommen beſtimmen nach dem jetzigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe, die climatiſchen Verhältniſſe und den Gang der Wärme an jeder Stelle. Was bis jetzt die Erfahrung über den Wärmezuſtand der Erdoberfläche gelehrt hat, beſteht im Allgemeinen darin: Das Clima hat ſich ſeit den älteſten Zeiten hier nicht verſchlimmert und die Winter ſind nicht ſtrenger geworden. Dieſes läßt ſich aus dem Gefrieren der Flüſſe und der Meere, worüber wir vom grauen Alterthume Nachrichten haben, abnehmen. In keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geſchütztes, 5—8 Schuh über den Boden erhöhtes Thermometer 46° *C.*, und im offenen Meere ſteigt es nur auf 31° *C.*; die größte, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur iſt 50° *C.*, die größte beobachtete Kälte 56°.2 *C.* Das Meerwaſſer hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° *C.* Die ſüdliche Halbkugel iſt bedeutend kälter als die nördliche. In dieſer iſt unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49°—60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen ſchon einzelne Polareismaſſen zum Vorſchein, das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat ſchon ewigen Schnee. Europa und Africa ſind die verhältnißmäßig wärmſten Erdtheile, America der kälteſte. In Europa wird bis zu 67° 20′ Br. Ackerbau getrieben, in Aſien hört der Ackerbau unter 60° Br. auf, in America kann ſelbſt unter 51° Br. nicht mehr mit Vortheil geſäet werden. Zur weiteren Beurtheilung der Vertheilung der Wärme und zu weiteren Belegen für die bisher aufgeſtellten Beobachtungen dienen Fig. 344 und folgende Tafeln, wovon die erſtere die Abnahme der mittleren Temperatur bei wachſender Breite in der nördlichen Halbkugel, die zweite die mittlere Temperatur des heißeſten und kälteſten Monates der nördlichen und ſüdlichen Halbkugel, die dritte endlich die mittlere Jahrestemperatur, ſo wie die Temperatur des heißeſten und kälteſten Monats für mehrere Orte angibt.

I.

Nördliche Breite	Abnahme der mittleren Temperatur.	
	Alte Welt.	Neue Welt.
0°—20°	2° *C.*	2° *C.*
20 —30	4	6
30 —40	4	7
40 —50	7	9
50 —60	5.7	7.9

II.

Breite	Mittlere Temperatur			
	nördliche Halbkugel		ſüdliche Halbkugel.	
0°—15°	Juni	28.5 *C.*	Decemb.	28.0 *C.*
18	October	26.5	April	26.5
22 —26	Jänner	19.3	Juli	22.5
34—	Decemb.	15.4	Juni	13.8
43—	Juli	17.0	Jänner	16.8
48—	Juni	18.2	Decemb.	15.2
58—	Juli	13.5	Jänner	6.2

III.

Name des Ortes	Nördliche Breite	Mittlere Jahrestemperatur nach *C.*	Mittl. Temperatur des heißeſten Monates	Mittl. Temperatur des kälteſten Monates
Cumana	10° 27′	27°. 7	29°.1	26°.2
Macao	22° 12′	23 3	28. 4	16. 6
Havannah	23° 10′	25° 6	28° 8	21° 1
Rio Janeiro	22° 54′	23 5	27. 3	19. 2
Benares	— —	25 2	— —	— —
Vera Cruz	19° 11′	25 4	27 7	21 7
Cairo	30° 2′	22 4	29 9	13 4
Havanah	28° 9′	25 7	28 8	21 . 1
St. Croix di Teneriffa	28° 28′	21 6	26 0	17 7
Algier	36° 48′	21 1	28 2	15 6
Rom	41° 53′	15 8	25	5 7
Marſeille	43° 17′	15 0	23 7	6 9
Mailand	45° 28′	13 2	23 7	2 3
Peking	39° 54′	12° 7	23° 1	— 3° 7
Philadelphia	39° 56′	11 9	25	0 4
Newyork	40° 40′	12 1	22	— 3° 9
Brüſſel	50° 50′	11 0	19 6	+ 1° 9
Amſterdam	52° 22′	11 9	19 4	+ 1° 9
Warſchau	52° 14′	8 2	— —	— —
Ofen	47° 29′	10 6	22	— 2° 4
Paris	48° 50′	10 6	18 5	+ 2 3

Namen des Ortes	Nördliche Breite	Mittlere Jahrestemperatur nach *C.*	Mittl. Temperatur des heißeſten Monates	Mittl. Temperatur des kälteſten Monates
Wien	48° 12′	10 3	21 4	— 3° 0
Mannheim	49° 29′	10 1	20 4	0° 8
Dublin	53° 21′	9 5	16 2	1° 9
Edinburg	55° 57′	8 8	15 2	3° 5
Kaſan	55° 48′	3 3	18 . 5	—21 8
Göttingen	51° 32′	8 3	19 1	— 1° 3
Kopenhagen	55° 41′	7 6	18 7	— 2 7
Chriſtiania	59° 55′	6 0	11 0	— 1 8
Stockholm	59° 26′	5 7	17 8	— 5° 1
Quebek	46° 47′	5 4	23	—10° 1
Tobolsk	58° 12′	— 0 63	— —	— —
Upſala	59° 5′	5 6	16 9	— 5 3
Moskau	55° 45′	4 5	21 4	—14 4
Drontheim	63° 24′	4 4	18 3	— 6 9
St. Petersburg . .	59° 56′	3 8	16 7	— 8 3
Umeo	63° 50′	0 7	17	—11 4
Uleo	65° 3′	0 6	16 4	—13 5
Nordcap	71°	0 0	8 1	— 5° 5
Enontekis	68°	— 2 8	15 3	—18, 1
Melville-Inſel . . .	74° 45′	—18 5	5 8	—35, 6
Cumberlandhaus . .	54°	0 5	— —	— —
Winter-Inſel . . .	66° 30′	—12 5	— —	— —
Jagolik-Inſel . . .	— —	— 9 2	— —	— —

Die mittlere Temperatur des Äquators beträgt nach v. Humboldt 27.7 *C.*, die des Nordpols, falls Land daſelbſt iſt, — 32° *C.*, wenn die Abnahme der Wärme gegen Norden hin das Geſetz durchaus befolgt, welches aus einzelnen Beobachtungen erkannt wird. Iſt der Pol mit Waſſer bedeckt, ſo dürfte ſeine Temperatur gegen — 18° betragen.

194. Der tägliche und jährliche Wechſel der Wärme, den man in der unteren Luft und an der Erdoberfläche bemerkt, erſtreckt ſich nur bis zu einer geringen Tiefe in die Erdrinde. Die täglichen Variationen der Wärme ſind nicht über eine Tiefe von $1\frac{1}{2}$ Fuß, die jährlichen nicht über 20 Fuß bemerkbar. In etwas größerer Tiefe hat der Boden im mittleren Europa in der Regel, wenn daſelbſt nicht chemiſche Proceſſe vorgehen, beſtändig die Temperatur, welche der mittleren Luftwärme an der entſprechenden Stelle der Erdoberfläche gleich iſt. In größeren Breiten iſt die mittlere Wärme des Bodens (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht anſehen, daß die Bodenwärme vom Äquator gegen die Pole deſto raſcher abnimmt, je mehr man ſich dem Parallelkreiſe von 45° nähert, höher hinauf aber einen langſameren Gang befolgt. Die Urſache

dieſer merkwürdigen und für die Ökonomie der Natur ſo wichtigen Thatſache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in ſolche Tiefe vorzugsweiſe nur durch das eindringende atmoſphäriſche Waſſer gebracht wird. Aber nur in einer Breite, welche der unſerigen gleicht oder ihr nahe kommt, dringt dieſes faſt das ganze Jahr hindurch in die Erde ein, in größerer Breite ſchließt die Winterkälte den Schooß der Erde und er iſt nur offen für das wärmere Sommerwaſſer; in geringerer Breite, vom ſüdlichen Europa an bis zu den Wendekreiſen, regnet es aber faſt ausſchließlich nur in der kälteren Zeit vom November bis April, in der heißen Zone iſt die Regenzeit die kühlere. Die Linien gleicher Luftwärme ſind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verſchieden und beide ſtimmen nur darin mit einander überein, daß ſie nicht mit dem Äquator parallel laufen. Übrigens hängen letztere ſo gut von der geographiſchen Länge ab, wie erſtere. (Humboldt in Gilb. Annalen 24.46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15.159.) Folgende Tafel zeigt den Unterſchied zwiſchen der Boden- und Lufttemperatur:

Ort	Breite	Bodenwärme *R.*°	Luftwärme *R.*°	Seehöhe
Congo	9° *S*	18.2	20.5	450 *M*
Cumana	10¼ *N*	20.5	22.4	0
St. Jago (Cap verdiſchen Inſeln)	15 *N*	19.6	20.0	0
Rockfort (Jamaica) . . .	18	20.9	21.6	0
Havannah	23	18.8	20.5	0
Nepaul	28	18.6	20.0	0 (?)
Teneriffa	28½	14.4	17.3	0
Cairo	30	18.0	18.0	0
Cincinnati	39	9.9	9.7	160
Philadelphia	40	10.2	9.9	0
Carmeaux	43	10.4	11.5	300 (?)
Genf	46	8.9	7.7	350
Wien	48	9.7	8.2	136
Paris	49	9.2	8.7	75
Berlin	52½	8.1	6.4	40
Dublin	53	7.7	7.6	0
Kendal	54	7.0	6.3	0
Keswick	54½	7.4	7.1	0
Königsberg	54½	6.5	5.0	0
Edinburg	56	7.0	7.0	0
Carlscrona	56¼	6.8	6.8	0
Upſala	60	5.2	4.5	0
Umeo	64	2.3	0.6	0
Giwarten-fiäll	66	1.0	—3.0	500
Enontekis	66	1.2	—4.9	
Radſoe	—	2.2	—3.5	

195. Die Wärmeverhältniſſe des Inneren der Erde ſind verſchieden, je nachdem ſie ſich auf das Weltmeer oder auf den feſten Theil der Erde beziehen. Die Natur eines ſo beweglichen Körpers, wie das Waſſer iſt, wo die ſchwereren Theile fortwährend zu Boden ſinken, bringt es mit ſich, daß deſſen Temperatur von Außen nach Innen abnimmt. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) erfolgt dieſe Abnahme ziemlich raſch, wird aber nach einwärts immer langſamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo dieſes Statt findet, ſcheint mit dem Zunehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; ſie beträgt bei 41° — 32° Breite 200 — 300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigſte Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Unterſuchung erſtreckte ſich auf 1000 T. Tiefe. Anders verhält es ſich mit der Temperatur im feſten Theile der Erdrinde. Wäre die Temperatur der Erde blos von der Einwirkung der Sonne abhängig, ſo müßte ſie gegen Innen ſehr raſch abnehmen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Temperatur der Erde gegen den Mittelpunct zu wächſt. Man hat dieſes aus Beobachtungen abgenommen, die man in natürlichen oder künſtlichen Höhlen (Schichten und Bohrlöchern) an Stellen machte, wo der Einfluß der äußeren Luft nur klein ſeyn konnte und jede Erwärmung durch Menſchen und Lichter möglichſt gemieden wurde. Über das Geſetz dieſer Zunahme der Wärme hat man noch nichts Sicheres ausmitteln können, indeß ſcheint ſo viel gewiß zu ſeyn, daß die Wärmezunahme nicht allenthalben dasſelbe Geſetz befolge und daß ſie an einem Orte zwei= bis dreimal größer ſey als an anderen, ohne daß dieſer Unterſchied mit der geographiſchen Lage in Verbindung ſteht. Man kann vor der Hand annehmen, daß die Temperatur für eine Tiefe von 79 W. F. um 1° *C.* zunimmt. Demnach müßte man nahe in einer Tiefe von 7130 Fuß unter Wien ſchon die Siedhitze des Waſſers und in der Tiefe von einigen Meilen ſchon Glühhitze herrſchen. — Es iſt nicht leicht, dieſe Zunahme der Wärme in der Erde anders zu erklären, als durch die Annahme, die Erde habe in ihrem Inneren noch einen bedeutenden Reſt ihrer urſprünglichen Wärme, und die ältere Meinung von einem Centralfeuer kann man nicht mehr für ſo unſtatthaft halten, als es noch vor Kurzem geſchah. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; *Ann. de Ch.* 13.283.). Über dieſes Kapitel iſt als Hauptquelle anzuzeigen: *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes*, und: *Considérations sur le temp. et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. par M. de Hum-*

boldt in deſſen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris* 1831.

Viertes Kapitel.

Luftſtrömungen.

196. Jede Änderung in der Ausdehnſamkeit der Luft muß eine Strömung derſelben von einem Orte zum anderen bewirken. Die fortſchreitende Bewegung einzelner Luftmaſſen heißt man Wind. Lüftchen, Sturm, Orcan ſind nur dem Grade nach verſchiedene Winde. Die verſchiedenen Winde unterſcheiden ſich von einander vorzüglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geſchwindigkeit abhängt.

197. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläſt. Stimmt dieſe nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, ſo ſetzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zuſammen, zwiſchen welche ſeine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerſt. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläſt, die mitten zwiſchen Nord und Weſt liegt, den Namen Nordweſtwind (nicht Weſtnordwind), jener, deſſen Richtung mitten zwiſchen Süd und Oſt liegt, Südoſtwind (nicht Oſtſüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwiſchen Nordoſt, Südoſt, Südweſt, Nordweſt und einer Hauptweltgegend liegt, bekommen den Namen aus dieſer und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordoſt-, Oſtnordoſt-, Oſtſüdoſt-, Südſüdoſt-, Südſüdweſt-, Weſtſüdweſt-, Weſtnordweſt-, Nordnordweſtwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freiſtehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäſte, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der ſchiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger iſt ſtets an der Windſeite am kälteſten.

198. Die Stärke (Geſchwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelſt eigener Inſtrumente, die Anemometer heißen und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein beſtimm-

tes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verſchiebung einer beſtimmten Laſt oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen ſich durch Rechnung die Geſchwindigkeit finden läßt. Wollaſtons Differenzialbarometer dürfte auch ein hierzu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrſcht an einem Orte der Luftdruck p, an einem anderen der Druck g, ſo geht nach Schmidt aus dieſem Unterſchiede des Druckes ein Wind von der Geſchwindigkeit $v = \frac{p-g}{2}.1215$ P. F. hervor. Die Größen p und g mißt man aber am leichteſten mittelſt des letztgenannten Inſtrumentes. (Theorie und Gebrauch des hydrometriſchen Flügels von Wolltmann. Hamburg, 1790. Schmidt's Windmeſſer in Pogg. Ann. 14. 59.) Mäßige Winde haben in unſeren Gegenden eine Geſchwindigkeit von 12—15 F., bei einer Geſchwindigkeit von 32 Fuß gehören ſie ſchon zu den Stürmen. Man will aber ſchon Stürme von 120 F. Geſchwindigkeit beobachtet haben.

199. In einigen Gegenden herrſchen durchaus regelmäßige Winde und nur ſelten wird die Ordnung auf eine kurze Zeit durch unerwartete Windſtöße geſtört; in anderen blaſen die Winde eine Zeit hindurch nach einer, hierauf aber eben ſo lang nach entgegengeſetzter Richtung; an vielen Orten ſcheinen die Winde an gar keine Regel der Zeit nach gebunden zu ſeyn, ſie wechſeln mit einander ohne beſtimmte Aufeinanderfolge ab, ſelten dauert einer mehrere Tage ununterbrochen. Deßhalb theilt man die Winde in regelmäßige und veränderliche und jene wieder in beſtändige und periodiſche. Zu den beſtändigen gehören die Paſſatwinde, zu den periodiſchen die Mouſſons, die Land- und Seewinde, manche Winde in engen Thälern ꝛc., zu den unregelmäßigen alle Winde im mittleren Europa. Die meiſten, vielleicht alle dieſe Winde ſind eine natürliche Folge der ungleichen Erwärmung der Luft an verſchiedenen Stellen.

200. Die Paſſatwinde herrſchen in der heißen Zone und gehen aus der größeren Erwärmung der Luft in dieſer Zone im Vergleich mit der Luft in anderen Zonen und aus der Axendrehung der Erde hervor. Die Stelle, über welcher ſich die Sonne ſenkrecht befindet, wird am meiſten erwärmt, die Luft ſteigt auf und ringsum ſtrömt kältere zu; die einander entgegengeſetzten Bewegungen heben ſich an der erwähnten Stelle auf, aber wegen der Axendrehung der Erde haben die aus Nord und Süd kommenden Ströme

eine kleinere Rotationsgeſchwindigkeit, als der Gegend entſpricht, wohin ſie zielen, ſie bleiben darum in der Richtung von Weſt nach Oſt zurück und erſcheinen demnach als öſtliche Ströme. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith ſteht, und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beſtändiger Oſtwind herrſchen. Außerhalb der Grenze dieſes Oſtwindes nach Nord und Süd heben ſich die entgegengeſetzten Ströme nicht mehr auf, durch Zuſammenſetzung des Nordſtromes mit dem aus der Axendrehung der Erde hervorgehenden Oſtſtrome entſteht ein N. O., durch Zuſammenſetzung des Südſtromes mit demſelben Oſtwinde ein S. O. Wind. Demnach hat man drei Gürtel; in dem mittleren herrſcht ein ſchwacher Oſtwind, der oft von Stürmen unterbrochen wird, dieſe Region heißt die der Calmen, an der Nordſeite dieſer Region iſt die des N. O. Paſſates, an der Südſeite jene des S. O. Paſſates. Wäre die Ecliptik mit dem Äquator parallel, ſo würden dieſe Zonen unverändert bleiben, wegen der Änderung der Abweichung der Sonne rücken ſie aber insgeſammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder ſüdlichen Wendekreis zugeht. Die mittlere Breite der Region der Calmen iſt nahe 6°, aber im Auguſt wächſt die Breite dieſes Gürtels auf $9°\frac{3}{4}$, und vermindert ſich im December auf $2°\frac{1}{4}$. Der N. O. Paſſat herrſcht zwiſchen 2° u. 23° n. B., der S. O. Paſſat zwiſchen 2° u. 21° ſ. B. Demnach liegt der größere Theil der Region der Calmen in der nördlichen Halbkugel. Die Windverhältniſſe treten über großen Meeren am reinſten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdartige Einflüſſe geſtört wird als auf dem feſten Lande, wo die verſchiedene Erwärmungsfähigkeit des Bodens das Entſtehen anderer Luftſtrömungen begünſtiget. In der That bemerkt man den Paſſat auch am deutlichſten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Oceane zwiſchen Amerika, Aſien und Neuholland, im atlantiſchen und im indiſchen Meere, jedoch mit Modificationen, die von den Eigenthümlichkeiten dieſer Meere herrühren. Dem unteren Paſſatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengeſetzter entſprechen; denn die in der Paſſatregion aufſteigende Luft muß Oben nach Nord und Süd abfließen und demnach nördlich von dieſer Region einen Südweſtſtrom, ſüdlich davon einen Nordweſtſtrom erzeugen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengeſetzten Paſſate liege, iſt nicht ganz ausgemacht. Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Paſſat noch in der Höhe von 1350

Klaftern, auf Teneriffa herrſcht aber ſchon in der Höhe von 1500 Kl. ein Weſtwind.

201. Einige Gegenden gehören immerfort der Region der Paſſatwinde an, wiewohl dieſe Region der Sonne folgt und ſich daher mit ihr nach N. und S. verſchiebt, in anderen herrſcht der Paſſatwind nur einen Theil des Jahres hindurch, ſolange nämlich die Sonne vermöge ihrer Abweichung dieſe Gegend zur Paſſatregion macht. Daſelbſt tritt alſo der Paſſatwind ſchon als ein periodiſch wiederkehrender und ausſetzender Wind auf. Dieſes iſt im atlantiſchen Ocean zwiſchen 24° — 32° n. B. der Fall. Solche an beſtimmte Jahreszeiten gebundene Winde heißen Mouſſons. Sie herrſchen einen Theil des Jahres hindurch nach einer beſtimmten Richtung und ſetzen den übrigen Theil ganz aus oder wehen nach entgegengeſetzter Richtung. Von letzterer Art ſind die in einem großen Theile des indiſchen Meeres, an den Küſtenländern Aſiens und Africa's herrſchenden Winde. Ihr Grund liegt in der ungleichen Erwärmung der dieſes Meer einſchließenden Länder, welche zur ſelben Zeit gerade entgegengeſetzte Jahreszeiten haben. Während der nördlichen Abweichung der Sonne haben wirklich nördlich gelegene Grenzländer die höhere Temperatur und der Wind weht über das Meer aus Südweſt, während der ſüdlichen Abweichung der Sonne hingegen kommt den ſüdweſtlich gelegenen Ländern die höhere Temperatur zu und darum herrſcht über dem Meere ein Nordoſtwind. (Dove in Pogg. Ann. 21. 177.)

202. Von derſelben Art, wie die letztgenannten Winde, ſind auch die Land- und Seewinde, nur mit dem Unterſchiede, daß ihre Periode nicht ein Jahr, ſondern nur einen Tag beträgt. An den Küſtenländern blaſet nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feſte Land hin, weil ſich das Land bei Tage eher und ſtärker erhitzt als der Spiegel des Waſſers, Nachts aber auch ſchneller und ſtärker abkühlt. Solche Winde herrſchen nicht blos an den Küſtengegenden des Meeres, ſondern auch an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Gardaſee, am Bodenſee ꝛc.

203. Zwiſchen den Wendekreiſen gibt es wohl auch eben ſo viele Veranlaſſungen zu Winden, wie bei uns, und ein ſtarker Waſſerniederſchlag, eine Feuersbrunſt, eine vulcaniſche Exploſion, die verſchiedene Erwärmung des feſten Landes und der See muß daſelbſt eben ſo wie bei uns das Gleichgewicht der Luft ſtören. Aber die Urſache des Paſſatwindes, der Mouſſons und anderer regelmäßiger

Winde überwiegt alle dieſe in kleinerem Maßſtabe wirkenden Veranlaſſungen und darum werden nur ſehr ſelten dieſe regelmäßigen Winde durch andere geſtört. In unſeren Gegenden und überhaupt im mittleren und nördlichen Europa hat keine der Wind erregenden Urſachen über die übrigen ein ſo entſchiedenes Übergewicht wie in der heißen Zone. Indeſſen haben ſelbſt hier nicht alle einerlei Rang und es herrſcht in den Winden auch bei uns mehr Regelmäßigkeit, als man gewöhnlich glaubt. Es iſt klar, daß die Luft beſtändig gegen den Äquator zuſtrömen muß, denn ſonſt könnte es keinen Oſtpaſſat innerhalb der Wendekreiſe geben. Eben ſo kann nicht geläugnet werden, daß die zwiſchen den Tropen aufſteigende Luft gegen die Pole zurückfließen, einen Südwind erregen und ſich ſo, wie ſie kälter wird, immer mehr ſenken muß. Zuletzt werden nun beide Ströme, die ſich zwiſchen den Tropen über einander befinden, neben einander hinfließen, ſich gegenſeitig zu verdrängen ſuchen und an ihrer Grenze einen Strom von mannigfaltiger Richtung (Wirbel) erzeugen. Um dieſes für das nördliche Europa außer Zweifel zu ſetzen, hat Schouw nach Lambert's Formel aus der Dauer und Stärke der innerhalb längerer Zeit an mehreren Orten herrſchenden Winde die mittlere Richtung derſelben berechnet und folgende Reſultate gefunden: Im nördlichen Europa haben im Allgemeinen die weſtlichen (Weſt, Nordweſt, Südweſt ꝛc.) Winde über die öſtlichen (Oſt-, Nordoſt-, Südoſtwinde) die Oberhand, dieſes nimmt aber vom atlantiſchen Meere gegen das Innere des Continents ab. Nahe am atlantiſchen Meere haben die weſtlichen Winde mehr eine ſüdliche Richtung, gegen das Innere des Landes wird dieſe Richtung gerade Weſt oder Nordweſt ſo, daß von Weſt gegen Oſt die Windesrichtung immer mehr nördlich wird. In Europa iſt im Winter die Richtung der Luftſtröme meiſtens ſüdlicher als in den übrigen Theilen des Jahres und ihre Stärke im Januar oder Februar am größten. Im Frühlinge entſtehen häufig öſtliche Winde und die weſtlichen kommen ſeltener vor. Im Sommer haben die weſtlichen Winde die Oberhand, im Herbſte nimmt ihr Übergewicht ab und die ſüdlichen Winde werden häufiger. Der Grund dieſer Windverhältniſſe und ihrer Abhängigkeit von den Jahreszeiten liegt in dem herabſinkenden oberen Südweſtpaſſatwinde und in der verſchiedenen Erwärmung des Continentes und des atlantiſchen Oceans. Die herrſchende Windesrichtung iſt die weſtliche, weil dieſe Richtung dem Paſſatwinde entſpricht. Im Frühlinge und gegen Ende des Winters

wird durch die größere Wärme des Oceans gegen jene des Continentes ein ſtarker Oſtſtrom erzeugt, der den Weſtſtrom überwältiget, im Sommer wird hingegen der weſtliche Paſſatſtrom durch einen anderen von weſtlicher Richtung unterſtützt, der von der größeren Erwärmung des Feſtlandes gegen jene des Oceans herrührt. Der letztere Weſtſtrom verliert ſich aber mit vorrückendem Herbſte, weil jene Temperaturdifferenz zwiſchen dem Ocean und dem feſten Lande verſchwindet und die immer ſüdlicher werdende Abweichung der Sonne ertheilt dem Paſſatwinde eine ſüdlichere Richtung.

Man darf nicht vergeſſen, daß das, was man mittlere Windesrichtung nennt, nur eine durch Rechnung gefundene, nicht wirklich vorhandene Größe ſey, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Reſultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet iſt die Einführung dieſer Größe von großem Nutzen. Sie verſinnlichet uns gleichſam das Daſeyn zweier neben einander befindlicher Ströme, deren einer eine nordöſtliche, der andere eine ſüdweſtliche Richtung hat, deren Grenzlinie veränderlich iſt und bald jenes, bald dieſes Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantiſchen Oceans während des Sommers verſtärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter ſchwächt die weſtliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Weſtwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Oſtwindes mit 270°; ſo findet man die mittlere Windesrichtung in folgenden von Weſt nach Oſt geordneten Stationen, wie die beigeſetzten Zahlen zeigen: Lancaſter 34° 58′; Mancheſter 42° 3′; London 90° 58′; Paris 65° 4′ (79° 40′); Amſterdam 71° 39′; Straßburg 313° 1′; Mannheim 115° 14′; Göttingen 36° 49′; Hamburg 78° 39′; München 59° 24′; Regensburg 149° 7′; Kopenhagen 62° 45′ (58° 59′); Berlin 95° 40′ (93° 32′); Prag 75° 41′; Stockholm 94° 58′; Danzig 91° 28′; Königsberg 71° 25′; Petersburg 112° 30′; Moskau 122° 27′. (Beiträge zur Climatologie von Schouw 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13. 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257. 55. 135. *Tableau de vents, des marées et des courans etc. par Romer. Paris* 1806.)

204. Die Winde haben meiſtens die Eigenſchaften der Luft derjenigen Gegend, aus der ſie kommen. Die Nordwinde bringen in Europa aus bekannten Urſachen Kälte, die Südwinde Wärme, die Weſtwinde gehören zu den warmen Winden, weil die Luft der weſtlichen Gegenden durch den Einfluß des tropiſchen Continentes mehr erwärmt wird als die in öſtlichen Regionen. In Wien bringt der Nordwind die größte Kälte und im Sommer eine oft erwünſchte

Abkühlung, der Nordweſtwind iſt mehr trocken als feucht, der Weſtwind bringt die meiſten Gewitter und abwechſelnd bewölkten Himmel und heiteres Wetter, der Südweſtwind und der Südwind Feuchtigkeit, der Südoſtwind und der Oſtwind Trockenheit. Am merkwürdigſten ſind in dieſer Hinſicht die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in ſüdlichen Ländern zeitweilig herrſchen und in verſchiedenen Orten verſchiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamſin, Samum und Harmattan. (Kämtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Fünftes Kapitel.

Oſcillationen der Atmoſphäre.

205. Wenn man ein Barometer nur eine kurze Zeit hindurch beobachtet, ſo überzeugt man ſich, daß es beſtändigen Veränderungen unterworfen ſey und bald in ſchnelleren, bald langſameren, bald größeren, bald kleineren Oſcillationen ſteige und falle. Einige dieſer Veränderungen kommen von den Variationen der Wärme, durch welche das Queckſilber ſpeciſiſch ſchwerer und leichter wird, man kann aber den jedesmaligen Barometerſtand durch die *I.* 179 angegebene Correctionsmethode von dieſem Einfluſſe unabhängig darſtellen und ſich überzeugen, daß wirklich beſtändige Änderungen im Luftdrucke vorgehen. Eine gute Überſicht der Barometerveränderungen in einem Jahre gewinnt man aus einer graphiſchen Darſtellung derſelben.

206. Die Änderungen im Barometerſtande ſind weder an allen Orten gleich groß, noch erfolgen ſie gleichzeitig. Die mittlere Veränderung des Barometerſtandes d. h. das arithmetiſche Mittel aus der Differenz zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Barometerſtande in jedem der 12 Monate eines Jahres richtet ſich nach der geographiſchen Breite und Länge des Ortes und nach anderen Localverhältniſſen. Sie wächſt mit der geographiſchen Breite. Am Äquator und zwiſchen den Wendekreiſen beträgt die mittlere Baroveränderung etwa 0.5 L., in der Nähe der Wendekreiſe 4 L. und in der gemäßigten Zone 5—12 L. (In Wien beträgt ſie 9 L.) Doch ſoll ſie in der ſüdlichen Halbkugel bei derſelben Breite größer ſeyn als in der nördlichen. An der Oſtküſte von Amerika iſt dieſe Veränderung bei gleicher Breite größer als an der Weſtküſte von

Europa und nimmt auch von da gegen das Innere von Europa immer mehr ab ſo, daß Linien, welche Orte mit einander verbinden, in denen dieſe Veränderungen gleich groß ſind (iſobarometriſche Linien) von der amerikaniſchen Küſte an nach Norden hinaufſteigen, bis ſie das Innere Aſiens erreichen, von wo ſie ſich wieder zu ſenken ſcheinen. Je höher ein Ort liegt, deſto geringeren Schwankungen unterliegt der daſelbſt herrſchende Luftdruck, auch über der See ſcheint er ſich öfter und regelmäßiger zu ändern als in Binnenländern. Übrigens bleibt für einen und denſelben Ort die mittlere Barometerveränderung von einem Jahre zum anderen nahe gleich. Die höchſten den einzelnen Monaten entſprechenden Barometerſtände weichen von einander zwei- bis dreimal ſtärker ab als die niedrigſten.

207. Der Luftdruck ändert ſich nicht zu allen Zeiten gleich ſchnell. In der Regel ändert ſich der Barometerſtand im Winter häufiger und ſtärker als im Sommer, am meiſten aber in den Nachtgleichen. Dalton ſchließt aus vieljährigen Beobachtungen, daß die größte Barometerhöhe in der Regel im Sommer Statt findet, aber nach den zu Paris, Wien ꝛc. angeſtellten Beobachtungen ſowohl als nach den in Norwegen angeſtellten 29jährigen Beobachtungen von Herzberg fällt dieſe in die Wintermonate. — Die Änderung der Oscillationen des Barometers in jedem Monate erſieht man aus folgender Tabelle, wo die auf Wien Bezug habenden Reſultate aus einem 11jährigen Durchſchnitte erhalten ſind.

Monat	Teneriffa Br. 28° 20′	Rom Br. 41° 53′	Wien Br. 48° 12′	Berlin Br. 52° 31′	Upſala Br. 59° 40′	Umeo Br. 63° 50′
	P. L.					
Jänner . . .	7.033	11.24	11.616	16.48	15.99	16:05
Februar . . .	5.627	10.215	11:556	15.45	15.34	18.42
März	3.345	9.540	9.728	13.90	15.13	16.40
April	4.500	7.960	9.720	11.16	13.40	12.80
Mai	3.150	7.035	7.620	9.48	11.82	14.47
Juni	1.870	4.895	6.912	7.64	9.93	10.74
Juli	2.060	4.225	6.228	7.94	8.29	8.00
Auguſt	2.060	4.075	5.943	7.34	9.81	10.59
September . .	2.250	5.700	8.544	11.28	11.61	14.63
October . . .	3.657	7.610	11.052	11.04	14.29	16.6
November . .	3.376	8.690	9.384	14.40	16.27	15.62
December . . .	4.220	10.015	10.632	14.22	15.32	18.05

208. Zwiſchen den Wendekreiſen zeigen ſchon 24ſtündige Barometerbeobachtungen, daß die Oscillationen des Druckes der At-

moſphäre periodiſch wiederkehren und daß täglich zwei Maxima und zwei Minima Statt finden. Dieſes mußte wohl auf den Gedanken bringen, es gebe auch außer den Wendekreiſen ſolche regelmäßige Schwankungen des Barometers, aber man erkennt ſie nicht unmittelbar, weil ſie durch andere unregelmäßig eintretende unkenntlich gemacht werden, nur aus einer ſehr großen Anzahl zu derſelben Stunde angeſtellter Barometerbeobachtungen, bei denen ſich die unregelmäßigen Schwankungen des Druckes aufheben, kann man ihr Daſeyn auch in dieſer Zone erkennen. Gegenwärtig iſt der Zuſtand unſerer Kenntniſſe in dieſem Fache folgender: Faſt auf der ganzen Erde, vom Äquator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klaftern, erlangt das Barometer täglich zweimal ſeinen höchſten und eben ſo oft ſeinen niedrigſten Stand und zwar erſteren zwiſchen $8\frac{1}{2}$ und $10\frac{1}{2}$ Uhr früh und zwiſchen 9 und 11 U. Abends, letzteren zwiſchen 3 u. 5 U. Abends und zwiſchen 3 u. 5 U. Morgens; nur in Oſtindien ſollen dieſe Variationen, nach Horsburgh's, Beobachtungen, von dieſer Regel abweichen und zur Regenzeit an einigen Orten ganz ausbleiben. Man erkennt dieſe periodiſchen Schwankungen nicht allenthalben gleich leicht. Zwiſchen den Wendekreiſen reicht eine ſehr kurze Zeit hin, in einer Breite von 44° bis 48° braucht man dazu wenigſtens durch 15 bis 20 Tage fortgeſetzte Beobachtungen. In der gemäßigten Zone iſt im Winter die Zeit des vormittägigen und die des nachmittägigen Minimums dem Mittage um 1—2 Stunden näher als im Sommer. In der heißen Zone iſt die Zeit des höchſten und niedrigſten Barometerſtandes an der Meeresfläche und auf Gebirgsebenen, die eine Höhe von 1300—1400 Klafter haben, dieſelbe; in der gemäßigten Zone iſt dieſes wenigſtens nicht überall der Fall. In der Nähe des Maximums und Minimums iſt der Barometerſtand völlig ſtationär und zwar während einer Zeit, die von 15 Minuten bis 2 Stunden wechſelt. Zwiſchen 15° nördlicher und ſüdlicher Breite haben Winde, Erdbeben und die bedeutendſten Änderungen der Temperatur und des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft auf die Wiederkehr des Maximums und Minimums keinen Einfluß. Die Größe der täglichen Variationen des Barometerſtandes nimmt gegen die Pole zu ab, wie man aus der nachfolgenden Tafel erſieht und iſt in der Regel im Sommer größer als in den anderen Jahreszeiten, beſonders im Winter. (Pogg. Ann. 8. 131; 9. 148; 11. 27. Schweigg. J. 46. 438; 47. 137; 51. 169; 59. 129.)

Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.	Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.
Quito	0°	2.82	Marſeille	43° 18′	0.72
Guayra	10° 36′	2.44	Straßburg	48° 34′	0.80
Jamaika	17° 56′	1.45	Paris	48° 50′	0.76
Can. Inſeln	28° 8′	1.10	London	51° 31′	0.38
Rom	41° 54′	0.70	—	74° 0′	0.10

209. Die Urſachen dieſer regelmäßigen Veränderungen des Druckes der Atmoſphäre ſind zweierlei, dynamiſche und phyſiſche; erſtere haben in der Anziehung der Sonne und des Mondes, letztere in der erwärmenden Kraft der Sonne ihren Grund. Sonne und Mond bewirken nämlich durch ihre anziehende Kraft in der Atmoſphäre ebenſo wie im Meere eine Ebbe und Fluth, die innerhalb jedes Umlaufes dieſer Himmelskörper zweimal eintreten, überdieß ändern ſie durch die im Meere bewirkte Ebbe und Fluth die Baſis der Atmoſphäre und die Geſtalt der Erde, mithin die Kraft, mit welcher letztere auf die Atmoſphäre wirkt. Allein dieſe Wirkungen ſind durchaus ſehr gering. Nach Bouvard iſt die Wirkung der Mondesfluth, die doch viel größer ſeyn muß, als jene der Sonnenfluth, für Paris ſo gering, daß man ſie füglich für unmerklich anſehen kann (Pogg. Ann. 13. 137), auch aus Flaugergues Beobachtungen, die er, 19 Jahre hindurch, ſtets zur Zeit der Culmination der Sonne angeſtellt hat, ergibt ſich nur eine ſehr geringe Einwirkung des Mondes auf die Atmoſphäre. Es muß demnach das in Rede ſtehende Phänomen größtentheils von der phyſiſchen Einwirkung der Sonne herrühren. Durch ihre erwärmende Kraft wird in der That die Expanſivkraft der Luft vermehrt und dadurch ihr Druck vermindert und es muß daraus täglich zur Zeit der größten Luftwärme ein Minimum des Druckes, zur Zeit der geringſten Wärme ein Maximum desſelben Statt finden. Gäbe es demnach keine andere Wirkung der Sonne, ſo könnte täglich nur ein Maximum und ein Minimum des Luftdruckes Statt finden. Allein, indem die Sonne erwärmend auf die Luft wirkt, befördert ſie auch die Dunſtbildung; durch Zunahme der Dünſte wird aber der Druck der Atmoſphäre vergrößert, es entſteht ein Maximum des Dunſtdruckes zur Zeit, wo ein Minimum des Luftdruckes Statt findet und umgekehrt, und durch Zuſammenwirkung dieſer zwei Momente entſtehen täglich zwei Maxima und zwei Minima des Barometerſtandes, weil die von der

Dunſtbildung herrührende Wirkung jener von der unmittelbaren Erwärmung der Luft herſtammenden nicht völlig gleich, aber entgegengeſetzt iſt; die täglichen Veränderungen des Barometers ſind daher der Erfolg der Unterſchiede zweier von einander verſchiedener Veränderungen, des Druckes der trockenen Luft und der Waſſerdünſte. An Orten, wo eine Gleichheit dieſer zwei Wirkungen eintritt, müſſen die täglichen, regelmäßigen Schwankungen unterbleiben, wie dieſes in einigen Gegenden Oſtindiens der Fall iſt. Daß ſich alles dieſes in der That ſo verhalte, wie hier aus theoretiſchen Gründen wahrſcheinlich gemacht worden iſt, können nur Nachweiſungen aus Beobachtungen darthun, bei denen die Änderungen des Druckes der trockenen Luft von den Änderungen der mit Waſſerdünſten gemengten ſcharf geſchieden werden. Dieſes hat Dove zu thun verſucht und dazu die Beobachtungen, welche Neuber zu Apenrade angeſtellt hat, benützt. Er fand, daß der Druck der trockenen Luft ſowohl als jener der Dünſte täglich nur ein Maximum und ein Minimum habe, daß jener wachſe, wenn dieſer abnimmt und umgekehrt und daß der aus beiden hervorgehende Druck der Atmoſphäre in der That täglich zweimal einen größten und eben ſo oft einen kleinſten Werth erlange. Indeß befolgt der Waſſerdunſt nicht überall einen der Wärme ſo gemäßen Gang wie zu Apenrade, wenn ja die Hygrometerbeobachtungen zu Lyon, Paris, Genf ꝛc. denen zu Apenrade gegenüber geſtellt werden können, und obige Anſicht bedarf daher noch einer weiteren Begründung. (Dove in Pogg. Ann. 22. 219. Flaugergues in Zeitſch. 4. 231. Schweigg. J. 59. 1. Kämtz ebend. 59. 129, 154.)

210. Die Urſachen der unregelmäßigen Veränderungen des Luftdruckes liegen ebenfalls in der Wärme und Feuchtigkeit der Luft und in ihrer Bewegung. Letztere kann auf zweifache Weiſe wirken, nämlich unmittelbar, indem bewegte Luft einen kleineren Druck ausübt, als ruhende, und mittelbar, indem dadurch der Wärme- und Feuchtigkeitszuſtand der Luft geändert und an einer Stelle mehr Luft angehäuft wird, als das Gleichgewicht fordert. Die beiden erſteren Urſachen wirken durch die Änderung der Dichte und der ſpecifiſchen Ausdehnſamkeit der Luft. Durch den Zug hoher Gebirge, durch nahe große Gewäſſer werden die Erfolge der Thätigkeit dieſer Urſachen oft ſtark modificirt. Daß Erdbeben, vulcaniſche Ausbrüche und überhaupt electriſche Phänomene das Barometer afficiren können, läßt ſich nicht läugnen; allein man kann ihre Wirkungen, die

übrigens nicht ſo häufig eintreten, als die oben genannten, noch nicht unter beſtimmte Geſetze bringen. — Hieraus wird begreiflich, warum der Barometerſtand, bei übrigens gleichen Umſtänden, ſo eng mit der herrſchenden Witterung, vorzüglich aber mit den Winden, zuſammenhängt. Man kann es als allgemeine Regel anſehen, daß Südwinde im allgemeinſten Sinne des Wortes den tiefſten, Nordwinde den höchſten Barometerſtand erzeugen und daß der mittlere Stand auch einem Winde von mittlerer Richtung entſpreche. Veränderlichkeit der Winde beurkundet ſich durch ſchnelle Schwankungen des Barometers, Stürme verurſachen ein ungewöhnliches Steigen, noch öfter aber ein ungewöhnliches Sinken des Barometers. Dieſes tritt immer an einem Orte am ſtärkſten ein, den man daher als das Centrum des kleinſten Druckes anſehen kann, und von wo aus der Druck nach allen Seiten zunimmt. Dieſes Centrum wechſelt oft ſeinen Platz ſehr ſchnell. Auch den Gewittern pflegen merkliche, ſchnell auf einander folgende Schwankungen vorauszugehen. Der Nordoſt- und Oſtwind erzeugt wegen ſeiner Trockenheit und geringen Temperatur einen hohen Barometerſtand und aus demſelben Grunde auch eine heitere Witterung. Im Winter muß dieſe Erſcheinung zugleich mit Kälte verbunden ſeyn, weil bei einem heiteren Himmel der Erde für die ausſtrahlende Wärme kein Erſatz zu Theil wird; im Sommer hingegen geſtattet dieſer Umſtand eine kräftigere Einwirkung der Sonne auf die Erde, und mithin, ungeachtet der immer kühlen Oſtluft, eine bedeutende Wärme. Beim Süd- und Südweſtwinde findet das Gegentheil Statt; dieſer erzeugt einen niederen Barometerſtand und zugleich einen bewölkten Himmel oder gar Regen und Schnee, weil er feuchte, wärmere Luft mit ſich führt. Ein großer Luftdruck iſt daher nicht Urſache einer trockenen, ein geringer nicht Urſache einer feuchten Witterung, ſondern beide, ſowohl der Luftdruck als der Character der Witterung, ſind durch Luftſtröme bedingt.

Den Einfluß der Richtung der Winde auf den Luftdruck erſieht man am beſten aus folgender Tabelle, welche den mittleren Barometerſtand bei verſchiedenen Winden an den nebenbei angezeigten Orten angibt. Die auf Wien bezüglichen Reſultate ſind aus 3 jährigen Beobachtungen erhalten.

	N	*NW*	*W*	*SW*	*S*	*SO*	*O*	*NO*
Berlin	336.32	335.85	335.13	333.61	333.06	334.55	336.36	336.62
Paris	337.14	336.14	335.20	334.03	333.94	335.37	334.76	337.0
Wien	331.39	331.26	325.81	330.52	330.19	330.25	329.68	330.58

Schübler hat die Barometerſtände in Paris, Stuttgardt und Wien für 1826 mit einander verglichen und vorbenanntes Geſetz beſtätiget gefunden. Das Barometer befolgt an dieſen drei Standpuncten einen ziemlich gleichförmigen Gang. Vom April bis Juli herrſchten an allen drei Orten Weſtwinde und da war der Druck der Luft in Paris meiſtens am größten und in Wien am kleinſten, während in den übrigen Monaten, wo meiſtens öſtliche Winde blieſen, das Gegentheil Statt fand. Brandes hat den Barometerſtand an mehreren Orten für einige Tage des Decembers 1821 und des Febr. 1823, wo ungewöhnliche Stürme herrſchten, mit einander verglichen und den Mittelpunct des geringſten Luftdruckes und ſeine Bewegung nachgewieſen. Am 24. Dec. um 6 Uhr Abends befand ſich das Centrum des geringſten Druckes an der Küſte von Bretagne und dehnte ſeine Wirkung, ſtufenweiſe abnehmend, ringsum aus, ſo daß die Linien von gleichem Drucke eine elliptiſche Geſtalt hatten. Am 25. Dec. um 6 Uhr Ab. befand ſich dieſes Centrum zu Dieppe und London und die Linien von gleichem Drucke waren mehr kreisförmig. Um 10 Uhr desſelben Tages traf man das Centrum des geringſten Druckes in Deutſchland und um 6 Uhr Abends war es gegen die norwegiſchen Küſten vorgerückt. (v. Buch in Gilb. Ann. 67. 29 und 437. Schübler in Schweigg. J. 52. 257. Dove in Pogg. Ann. 11. 545. *Brandes de repentinis variationibus in pressione atmos. observatis. Lip.* 1826.)

211. Das arithmetiſche Mittel aus einer großen Anzahl von Barometerhöhen an demſelben Orte gibt den mittleren Luftdruck daſelbſt und den Stand des Barometers, um welchen die Oscillationen desſelben erfolgen. Je größer die Anzahl der dazu gebrauchten Barometerhöhen iſt, deſto zuverläſſiger fällt das Reſultat aus; es iſt aber auch nicht gleichgültig, an welcher Tageszeit die Barometerhöhe beobachtet wird. Der Barometerſtand zu Mittag ſoll vom täglichen Mittel nur wenig abweichen, eben ſo das Mittel aus dem um 9 U. Ab. und um 10 U. früh gefundenen. Am beſten würde man fahren, wenn man des Tags 4 mal und zwar zur Zeit der Maxima und Minima beobachten wollte.

212. Wäre die Atmoſphäre vollkommen ruhig und ihre Temperatur allenthalben dieſelbe, ſo könnte man aus theoretiſchen Gründen den mittleren Luftdruck an jedem Orte aus dem an einer beſtimmten Stelle bekannten Drucke durch Rechnung finden, allein die in der Luft ſtets vorhandenen Störungen, ſo wie die Ungleichheiten der Temperatur machen dieſe Berechnungen aus theoretiſchen Gründen unmöglich und man bleibt demnach hierin ganz der Erfahrung

überlaſſen. Dieſe lehrt, daß der mittlere Luftdruck an der Meeresfläche von der geographiſchen Breite und Länge abhänge. In demſelben Meridiane nimmt nach Erman der Luftdruck mit wachſender Breite ab und zwar ſowohl in der ſüdlichen als in der nördlichen Halbkugel; in derſelben Breite herrſcht an der Meeresfläche in verſchiedenen Meridianen ein verſchiedener Luftdruck. Erman fand in den azoriſchen Meridianen ein Maximum, in den kamtſchatkiſchen ein Minimum des Luſtdruckes, mithin eine Zunahme desſelben von Kamtſchatka gegen den Meridian der Azoren. An dieſen Anomalien haben ohne Zweifel die Wärmeverhältniſſe den Hauptantheil, indem offenbar dort, wo die Wärmeverhältniſſe beſonders günſtig ſind, ein niederer Barometerſtand herrſchen muß; man würde ſich aber in große Widerſprüche verwickeln, wenn man aus der Ungleichheit der mittleren Barometerſtände über verſchiedenen Meeren eine verſchiedene Höhe derſelben annehmen wollte, indem dieſe Höhenunterſchiede ſo groß ausfallen müßten, daß an kein Gleichgewicht des Waſſers mehr zu denken wäre. (Erman in Pogg. Ann. 13. 121.)

Sechstes Kapitel.

Waſſermeteore.

213. Da die Atmoſphäre beſtändig mit Waſſer oder feuchter Erde in Berührung ſteht, ſo müſſen auch ununterbrochen Dünſte in die Luft aufſteigen. Die Menge der in einer gewiſſen Zeit an einem beſtimmten Orte aus Waſſer entwickelten Dünſte beſtimmt man mittelſt eigener Inſtrumente, die man Atmometer nennt und die in der Hauptſache aus Gefäßen voll Waſſer beſtehen, an denen man die Menge des durch Verdünſten verſchwundenen Antheils durch das Gewicht oder mittelſt einer Scale beſtimmt, die man aber, um richtige Reſultate zu erhalten, ſo tief in ein großes Waſſer ſenken ſoll, als das Waſſer in ihnen ſteht. Man hat die Größe der Verdünſtung auf dieſe Weiſe an mehreren Orten unterſucht und gefunden, daß ſie vom Äquator gegen die Pole hin abnimmt, daß ſie in demſelben Orte vom December bis Juni zunehme, von da an aber bis December wieder kleiner werde. Folgende Tabelle gibt die

Größe der jährlichen Verdünſtung für die darüberſtehenden Breitengrade in W. Zollen an, wie ſie theils durch Verſuche, theils nach einer den Verſuchen entſprechenden Hypotheſe ausgemittelt worden iſt.

Breite	90°	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Verdünſt.	12.4	13.1	15.3	19.4	25.7	34.4	44.9	55.5	63.6	66.6

214. Die in der Luft enthaltenen Dünſte ſuchen ſich wie jede andere ausdehnſame Flüſſigkeit ins Gleichgewicht zu ſetzen und bilden eine eigene Dunſtatmoſphäre um die Erde, ſie kommen aber wegen ihrer großen Abhängigkeit von der Wärme noch weniger zum vollkommenen Gleichgewichte als die anderen Beſtandtheile der Atmoſphäre. Die Änderungen der Dunſtmenge und der Feuchtigkeit während eines Tages geben Beobachtungen in verſchiedenen Orten verſchieden an. Nach den zu Apenrade angeſtellten, welche wohl ihrer großen Anzahl wegen den größten Werth haben dürften, wächſt die Spannkraft der Dünſte in der Luft von der kälteſten Tagesſtunde an bis zur wärmſten und das Maximum dieſer Spannkraft fällt mit jenem der Wärme faſt genau zuſammen; nach Daniell's, zu London, angeſtellten Beobachtungen iſt die Spannkraft des Dunſtes in den Frühlingsmonaten des Morgens größer als Nachmittags, die Feuchtigkeit iſt aber bei der kleinſten Tageswärme am größten, bei der größten Temperatur im kleinſten. Eben ſo iſt in der kälteſten Jahreszeit die Spannkraft der Dünſte am kleinſten, in der wärmſten Jahreszeit am größten, aber die größte Trockenheit herrſcht in der Regel im Mai, die größte Feuchtigkeit im December. Winde haben auf den Dunſtgehalt der Atmoſphäre einen gar großen Einfluß und es ſcheint ſowohl die Dunſtmenge als die Feuchtigkeit bei öſtlichen und nördlichen Winden am kleinſten, bei ſüdlichen am größten zu ſeyn, ſo daß dieſe beiden hygrometriſchen Größen bei einer Drehung des Windes von Nord nach Süd ſowohl auf der Oſtſeite der Windroſe als auf der Weſtſeite derſelben abnehmen. In verſchiedenen Höhen herrſchen verſchiedene hygrometriſche Verhältniſſe, und Beobachtungen lehren, daß die Feuchtigkeit ſowohl als die Dunſtmenge, beſonders in den kälteren Tagesſtunden, nach Oben abnehmen, nur in den heißeſten Stunden führen aufſteigende Luftſtröme ſo viel Dunſt nach aufwärts, daß ein umgekehrtes Verhalten eintritt. In Höhen, wo ſich Nebel und Wolken befinden, hat der Dunſt ſeine größte Spannkraft. Am Äquator iſt die Dunſt-

menge am größten und nimmt gegen die Pole hin ab, mit der Feuchtigkeit ſcheint das Entgegengeſetzte Statt zu finden. Man hat Grund anzunehmen, die mittlere Spannkraft des Waſſerdunſtes ſey von der Art, daß der Thaupunct überall 3°.3 *C.* unter dem jährlichen Mittel der Temperatur liege und für 390 F. Höhe um 1° *F.* abnehme. Indeß iſt ſelbſt bei einerlei geographiſcher Lage und Höhe eines Ortes der Dunſtgehalt der Atmoſphäre bei verſchiedenen Localverhältniſſen verſchieden, insbeſondere zeigt ſich die Nähe großer Gewäſſer hierin ſehr einflußreich; Inſeln und Küſtenländer haben darum mehr Feuchtigkeit als ausgedehnte Continente. Darum herrſcht in einigen Gegenden Aſiens, des ausgedehnteſten Continentes, die größte Trockenheit. Die Größe der Veränderungen der hygrometriſchen Verhältniſſe iſt ſehr verſchieden. Die täglichen Veränderungen ſind im Winter am kleinſten und ſcheinen im Frühlinge am größten zu ſeyn und nach Oben abzunehmen. (Dove in Pogg. Ann. 16. 285, 293; 22. 219.)

Das im tropiſchen Himmelsſtriche in der Luft enthaltene Waſſer würde die Erde 9 Z. hoch bedecken; in einer Höhe von 4200 F. enthält ein Volumen Luft nur mehr halb ſo viel Dunſt als an der Meeresfläche. In England iſt der mittlere Feuchtigkeitsgrad 87°.1 (65° Deluc) in Paris 59°.7 (79° Sauſſure), in der aſiatiſchen Steppe Platowskaja fand A. v. Humboldt nach anhaltendem S. O. Winde um 1 Uhr N. M. bei einer Lufttemperatur von 23°.7 *C.* den Thaupunct = — 4°.3 *C.*, mithin nur eine Feuchtigkeit von 17 p. C. Die geſammte in der Luft enthaltene Waſſermenge wird zu 3 Trillionen K. Z. angeſchlagen. (*Edinb. Encyclop. Art. Hygromet.*)

215. Wenn die in der Luft enthaltenen Dünſte einmal das Maximum ihrer Dichte erreicht haben, ſo werden ſie durch die kleinſte Temperaturverminderung in tropfbaren Zuſtand verſetzt. Dieſe Temperaturverminderung kann durch den Erdboden, durch das Aufſteigen in kältere Luftſchichten oder durch kältere Luftſtröme ꝛc. hervorgebracht werden.

216. Sobald die Dünſte das Maximum ihrer Dichte überſchritten haben, bilden ſie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtſtrahlen ſo häufig eine theilweiſe Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft ſchweben, bis ſie eine gewiſſe Größe erreicht haben oder in die Nähe hygroſcopiſcher Körper kommen. Sie erhalten ſich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil ſie

wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniſſe zu ihrer Maſſe zu große Oberfläche haben und daher nur äußerſt langſam ſinken können; 2) weil immer wärmere Luftſtröme aufwärts gehen und ſo dem Fallen der Waſſertheile entgegenwirken; 3) weil ſie durch die vielen Reflexionen, welche ein Lichtſtrahl erleidet, der die mit ſo vielen Kügelchen geſchwängerte Luft trifft, der Luft die Durchſichtigkeit benehmen und eben deßhalb bewirken, daß die Luftſchichte, welche ſie enthält, mehr von der Sonne erwärmt wird, als die reine durchſichtige Luft und daher auch ein geringeres ſpecifiſches Gewicht erlangt, in die Höhe zu ſteigen ſucht und die Dunſtkügelchen zu fallen hindert. Vergrößern ſich die Waſſerkügelchen, ſo fallen ſie doch herab und erzeugen die bekannten, wäſſerigen Lufterſcheinungen, Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

217. Der Thau erſcheint als ein wäſſeriger Beſchlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Über ſein Entſtehen verdanken wir Wells die meiſte Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt ſich der Thau nach einem heitern Tage zwar ſchon Abends im beſchatteten Graſe, aber erſt nach Sonnenuntergang entſteht er reichlich und vermehrt ſich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heiteren, windſtillen Nächten am meiſten, eine geringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Überzug des Himmels verhindert ſein Entſtehen ganz. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit derſelben gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umſtänden jene Körper, die dem freien Himmel ausgeſetzt ſind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als ſolche, deren Oberfläche glatt iſt. Über den letzteren Punct hat vorzüglich Harvey viele intereſſante Beobachtungen angeſtellt. Zu dieſen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die ſie umgebende Luft, und daß mit dieſem Unterſchiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieſes läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entſtehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausſtrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgeſetzt ſind, eine Verminderung der Temperatur, dieſe entziehen der angren-

zenden Luftſchichte die Wärme und machen, daß ihre Dünſte das Maximum der Expanſivkraft überſchreiten, in tropfbaren Zuſtand übergehen und ſich ſo an die nahen Körper abſetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgeſetzten Waſſers beſtimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel ausſetzt und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugergues fand ſo, daß das im Jahre 1823 abgeſetzte Thauwaſſer zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es ſich anſammeln könnte. (*Bibl. univ. avril. An assay on Dew and several appearances connected with it. by W. Wells. London* 1815.) Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunct ſinkt; ſo friert der Thau und erſcheint als Reif an Körpern. Man ſieht leicht ein, daß ein Reif entſtehen kann, ſelbſt wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpuncte ſteht. Mehlthau, Honigthau ſind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmoſphäriſcher Niederſchlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man ſich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbſt ſo reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wäſſer und überhaupt in waſſerreichen Gegenden ſo ſtark thauet; warum Niederungen ſo oft vom Reif heimgeſucht werden, während höhere Gegenden, wohin ſich die warmen und daher leichteren Luftſchichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächſe durch eine geringe Decke, z. B. durch Reiſig, Rauch vor Reif ſchützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verſchwindet ꝛc. ꝛc.

218. Waſſer, das klein zertheilt in der Luft ſchwimmt und ſie trübt, bildet Nebel und Wolken. Beide unterſcheiden ſich von einander nur durch ihre Höhe. Eine Wolke iſt ein hochſchwebender Nebel, oder der Nebel iſt eine auf der Erde aufliegende Wolke, man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man ſich, wenn man einen Berg beſteigt, der in Wolken gehüllt erſcheint; denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an. Die Wolken ſchweben keineswegs ruhig in der Luft, ſondern nehmen an den Bewegungen derſelben Theil, ſchreiten nach verſchiedenen Weltgegenden fort, heben und ſenken ſich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer ſchweben, erkennt man daraus, daß ſie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald ſie dem Auge frei geben. Man meint, nur die

feinſten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber, die Regen- und Gewitterwolken ziehen meiſtens ſehr tief, weil ſie dichter und daher ſchwerer ſind als die übrigen, heben ſich aber wieder, wenn ſie einen Theil ihres Waſſers durch Regen, Schnee ꝛc. verloren haben. Im Sommer ſchweben die Wolken höher als im Winter und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen ſie faſt immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern ſo läſtig ſind. Das Treiben der Wolken geſchieht oft mit großer Geſchwindigkeit und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengeſetzt iſt. — Die Farbe der Wolken ſteht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken abſorbiren das Licht völlig und erſcheinen daher dunkel, dünnere laſſen es zum Theil durch und reflectiren es zum Theile, ſind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intenſiver beleuchteten Wolken gewähren nicht ſelten ein herrliches Farbenſpiel. — Die Größe einzelner Wolken iſt ſehr verſchieden, jedoch erſcheinen uns unter allen die Gewitterwolken am größten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erſcheint, ſo iſt dieſes die Folge mehrerer ſehr nahe ſtehender Wolken, deren es gewöhnlich ſogar mehrere Schichten über einander gibt. Übrigens hängt die ſcheinbare Größe einer Wolke, wie die eines jeden anderen ſichtbaren Gegenſtandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchſten Wolken erſcheinen immer wie Faſern und Streifchen, ſind aber wahrſcheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns ſo nahen Regenwolken; die gegen uns ſchief ſtehenden Wolken erſcheinen lang und ſchmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig ſeyn kann, weil ſie nach ihrer Breite geſehen, verjüngt erſcheinen. Auch das Anhäufen der Wolken am Horizont zu einer Zeit, wo ſich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optiſchen Täuſchung. Manchmal vergrößert ſich eine Wolke ſehr ſchnell, nicht ſelten vermindert ſich eine eben ſo eilig. Daran mag vielleicht die Electricität einen Antheil haben, indeß ſieht man auch wohl ein, daß ſich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müſſe, wenn ſie durch den Wind in feuchte Luftſchichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken iſt nicht ſelten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausſtrahlende Wärme zurückſenden. Das Verſchwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus

begreiflich, daß ſie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufſteigt, oder daß dieſe ihr ſelbſt vom Winde zugeführt wird. Hieraus ſieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerſtreuen können.

219. Über die Geſtalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiſte Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter 3 Hauptformen und 4 abgeleiteten Formen erſcheinen. Die Hauptformen ſind: Die Federwolke (*cirrus*), die Haufenwolke (*cumulus*) und die Schichtwolke (*stratus*). Die abgeleiteten ſind: Die federige Haufenwolke (*cirro-cumulus*), die federige Schichtwolke (*cirro-stratus*), die geſchichtete Haufenwolke (*cumulo-stratus*) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (*nimbus*).

220. Die Federwolke (Fig. 346) beſteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Faſern. Sie iſt nach anhaltend ſchönem Wetter die erſte, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt ſich bei trockener Witterung mehr faſerig, bei feuchter und bevorſtehendem Regen mehr verwaſchen. — Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 347) beſteht aus kleinen, weißen, meiſt runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erſcheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage und können nach anhaltend naſſer Witterung für Vorboten einer beſſeren Zeit angeſehen werden. — Die federige Schichtwolke (Fig. 348) charakteriſirt ſich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Subſtanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Geſtalt. Sie hat, wenn ſie am Horizont ſteht, wo man ihren verticalen Durchſchnitt ſieht, das Anſehen weit ausgedehnter Schichten, wenn ſie aber hoch ſteht, ſcheint ſie aus zarten Wölkchen zu beſtehen. Oft überzieht ſie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil deſſelben wie mit einem weißen Schleier. Dieſe Wolkenart iſt es auch, welche, wenn ſie am weſtlichen Himmel bei Sonnenuntergang ſteht und dünn genug iſt, das herrliche Farbenſpiel der Abendröthe gibt, wenn ſie aber dichter iſt, einen trüben Sonnenuntergang verurſacht und einem anhaltenden, aber ſanften Landregen vorhergeht. Die Schichtwolke (Fig. 349) iſt eigentlich das, was man Nebel nennt, nämlich eine wie Waſſer ausgedehnte,

die Erde berührende Wolke. Sie entſteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht ſtark abſticht. Nach Sonnenuntergang lagert ſie ſich beſonders häufig über tiefe Gewäſſer, verſchwindet manchmal gänzlich, indem ſie wie ein feiner Thau herabfällt, ſteigt nicht ſelten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Über den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150 — 200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein ſolcher Nebel, den man Höhenrauch nennt, faſt das ganze Jahr hindurch die meiſten Gegenden Europa's und ſtand wahrſcheinlich mit den in dieſem Jahr ſo häufigen unterirdiſchen Revolutionen in Verbindung. Die Entſtehung der Schichtwolke läßt ſich nach Davy's Anſicht auf folgende Weiſe erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen iſt, wird der Erde für die ausſtrahlende Wärme, beſonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter iſt, kein Erſatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am feſten Lande beſchränkt ſich dieſe Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erſtreckt ſich doch nur in ſehr geringe Tiefe, im Waſſer hingegen, deſſen Temperatur über 3° *R.* iſt, ſinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weiſe wieder abgekühlt, nur unter 3° *R.* iſt die oberſte zugleich die kälteſte Schichte, es erſtreckt ſich daher die Abkühlung auf die ganze Waſſermaſſe. Iſt nun dieſe hinreichend groß und hat ſie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° *R.* iſt; ſo muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche größer ſeyn, als die des angrenzenden feſten Landes und eben daher muß auch die Luft über dem Waſſer wärmer ſeyn, als über dem Lande und mehr Dünſte enthalten, zugleich muß aber auch die Landluft beſtändig gegen das Waſſer hinſtrömen, die daſelbſt befindliche Luft abkühlen und ſo den Nebel erzeugen und die Menge desſelben muß ſich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Waſſers richten. Dieſe Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüſſen Deutſchlands und Italiens beſtätigt gefunden. Auch der Umſtand iſt dieſer Erklärung günſtig, daß nach Harvey's Erfahrungen (*Journ. of sc. Nr.* 29) die Temperatur einer Nebelſchichte in der Mitte geringer iſt, als Oben und Unten. Da das feſte Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Waſſerbehältern oder feuchten Stellen wechſelt, ſo iſt wohl begreiflich, wie ſich oft ein Nebel weit über eine Gegend

verbreiten kann. Er kann aber auch ſein Entſtehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken. — Die Haufenwolke (Fig. 350) zeichnet ſich durch ihre halbkugelförmige Geſtalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie entſteht, ſo wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächſt, die kleineren, herum befindlichen gleichſam aufnimmt und ſich ſo zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig iſt der Umſtand, daß dieſe Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entſtehen, bis zur größten Tageshitze an Größe zunehmen, am Abende wieder verſchwinden und ein reines Firmament zurücklaſſen. Die Urſache dieſer Erſcheinung liegt wahrſcheinlich in der mit der Wärme zunehmenden Menge der Dünſte, die mit der erwärmten Luft aufſteigen, in kältere Regionen kommen und zu Wolken werden. Dieſe ſenken ſich wieder, ſobald das Aufſteigen der wärmeren Luftſtröme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen und gehen in Dunſt über. Mit dieſer Anſicht ſteht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach Oben ſchneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunctes, indem die Lufttemperatur ſchon in einer Höhe von 400—500 F., der Thaupunct aber erſt in einer Höhe von 700 F. um 1° *C.* abnimmt.

221. Nicht ſelten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Geſtalt, nimmt nach Oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter, und bildet ſo die geſchichtete Haufenwolke (Fig. 351). Wenn ſich bei dem periodiſchen Entſtehen und Verſchwinden der Haufenwolken eine große Neigung derſelben zeigt, in die geſchichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten. — Der Übergang der jetzt beſchriebenen Wolkenarten in die regnende Wolke iſt mit merkwürdigen Erſcheinungen begleitet: Die in niederen Luftſchichten hinſchwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert ſich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken, verwandelt ſich ſo in eine geſchichtete Haufenwolke, die Oben in lockige Faſern ſich endiget, immer dunkler wird und endlich Regen herabſchüttet. — Der Regen iſt eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Waſſertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umſtände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und ſo immer fort Dunſt zerſetzt wird, denn dadurch kommen ſich die ein=

zelnen Waſſertröpfchen näher und fließen in größere zuſammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechaniſches Hinderniß antreibt; dadurch entſtehen jene furchtbaren Regengüſſe, die den Gebirgsländern ſo gefährlich ſind und Wolkenbrüche heißen. Dieſer Wirkung der Winde iſt keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein ſtarker Wind in den unteren Regionen den Regen hindert; denn es iſt hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es ſelten fehlt, der untere hingegen zerſtreut die kleinen, herabfallenden Tropfen und bewirkt ſo, daß ſie wieder in Dünſte übergehen, bevor ſie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Übrigens können wenige Waſſertröpfchen, die ſich nicht mehr in der Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil ſie beim Sinken auf andere treffen und ſich mit ihnen zu einer größeren Maſſe vereinigen.

222. Die Regentropfen ſind in den oberen Regionen ſehr klein, vergrößern ſich aber allmälig im Herabfallen durch Waſſer, welches ſie durch ihre Erkältung aus der Luft ausſcheiden. Darum ſind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmeſſer als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher ſtehen. Oft ſollen ſie unter dem Äquator einen Zoll im Durchmeſſer haben, während ſie bei uns ſelten mehr als einige Linien dick ſind. Wegen des Widerſtandes der Luft erlangen ſie keine große Geſchwindigkeit.

223. Die Regenmenge iſt weder an demſelben Orte zu verſchiedenen Zeiten, noch in derſelben Zeit an verſchiedenen Orten gleich groß. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge deſto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünſtung iſt; ſie iſt daher am Äquator größer als bei uns, und nimmt ab, wenn die geographiſche Breite wächſt. Übrigens haben auf die Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftſchichten von verſchiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten einen großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerſt erreichen, auch mehr regnen als am entgegengeſetzten, über dem die Regenwolken erſt ſchweben, wenn ſie ſchon einen Theil ihres Waſſergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meiſtens aus Süd oder Weſt kommen, ſo iſt es begreiflich, warum im ſüdlichen Deutſchland und in Un-

garn (dieſſeits der Alpen) verhältnißmäßig wenig Regen fällt. Genf hat zweimal ſo viel Regen als Paris und liegt doch nur wenig ſüdlicher; Petersburg liegt viel nördlicher und wird vom Regen nicht weniger heimgeſucht als Wien. Selbſt die Vertheilung des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten iſt an verſchiedenen Orten verſchieden. In Paris regnet es im Februar am wenigſten, im Juni am meiſten. Überhaupt fällt der größte Theil des jährlichen Regens im mittleren Europa in der zweiten Jahreshälfte. Je weiter man gegen Süden kommt, deſto mehr concentrirt ſich der ganze Regen auf den Herbſt und Winter, und deſto weniger regnet es im Sommer. Nach Kämtz iſt an der Weſtküſte Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben ſo groß, wie in den drei Sommermonaten; je weiter man von den Küſten ins Innere des Continents kommt, deſto vorherrſchender werden die Sommerregen. Dasſelbe ſcheint an der Weſtküſte Amerika's außerhalb der Tropen und an der Oſtküſte von Neuholland zu gelten. Ein regelmäßiges, zum Auffangen und Meſſen des Regenwaſſers beſtimmtes Gefäß (Regenmeſſer, Ombrometer, worunter das von Horner angegebene beſonders ſinnreich iſt, Schweigg. J. 52. 36) zeigt auf dem Dache eines Hauſes weniger Regen, als auf der Straße, weil der Wind, welcher den Regenadern eine ſchiefe Richtung gibt, Oben mehr Waſſer vom Gefäße abhält als Unten.

Nach Anderſon geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19 14, 12, 11. 5 die Regenmenge unter dem Äquator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90° an, ſie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwaſſer die Erde decken würde, wenn es ſich anſammelte. Im ſüdlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z., am ſüdlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft ſie ſich auf 42—43 Z. Am ſüdlichen Abhange der Alpen in der Ebene der Lombardie und des venetianiſchen Königreiches fallen jährlich 54—55 Z., hie und da gar 80—90 Z Waſſer, in der Mitte der Ebene aber nur 36—37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna $^1/_2$, zu Piſa $^1/_4$, zu Rom $^1/_3$ vom Herbſtregen und zu Bologna und Piſa $^1/_2$, zu Rom nahe $^1/_3$, zu Palermo $^1/_8$, zu Liſſabon $^1/_{13}$—$^1/_{14}$ des Winterregens. Im gemäßigten Clima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchſchnitte 20—30″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Miſſion St. Antonio de Javita am Ori-

noco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴, und ein anderesmal gar in 3 St. 14‴, in Bombay während den 12 erſten Tagen der Regenzeit 32″.

224. Das Regenwaſſer iſt beſonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringen Luftwärme noch keine fremdartigen Subſtanzen mit den Dünſten in die Luft geführt werden, in warmen Sommermonaten hat es viele fremdartige Subſtanzen beigemiſcht. Subſtanzen, wie z. B. Samenſtaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwiſſenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. ſ. w. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit dem Regnen der Thiere, z. B. der Fröſche, die bei trockener Zeit im Straßenſtaube vergraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden ſeyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwaſſer eine große Aufmerkſamkeit widmete, fand das ſpecifiſche Gewicht desſelben bei 14° $R =$ 1.00010 — 1.00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eiſen, Mangan, Salzſäure, Kohlenſäure und organiſchem Stoff darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regenwaſſer 2.57 Gran feſten Stoff. (Schweigg. J. 48. 153.)

225. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger ſchweben als andere, ſo befinden ſie ſich doch meiſtens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünſte in tropfbaren Zuſtand über, ſo werden ſie auch bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen ſie aber in Geſtalt von Flocken herab und geben den Schnee. Das Regenwaſſer iſt daher meiſtens Schneewaſſer. Thauet der Schnee während des Falls nicht ganz auf, ſondern ſintert nur zuſammen, wie dieſes im Frühling und Herbſt oft geſchieht, ſo entſteht dadurch der Graupenregen. Man erklärt es ſich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen ſchneiet, warum ſich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erſtreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht ſchneiet.

226. Wenn der Schnee nicht ſehr dicht fällt, erkennt man ſchon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen beſteht, die meiſtens ſechseckig ſind; fällt er aber dicht, ſo hängen ſich mehrere

ſolche Geſtalten an einander und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 352 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zuſtande. Der Vermiſchung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee ſeine ſtarke Licht reflectirende Kraft und die blendend weiße Farbe, beigemiſchte meiſtens vegetabiliſche Subſtanzen färben ihn aber nicht ſelten merklich roth; man fand ihn öfters auch ſchon leuchtend.

Folgende Tafel gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwaſſer jährlich ſteigen würde, wenn es nicht wieder verdünſtete oder eingeſaugt und zerſetzt würde.

Zu Abo . .	27,54	P. Zoll	Zu Maranhao	26,0	P. Zoll
= Algier . .	25,32	—	= Middelburg	31.8	—
= Bergen .	73.0	—	= Padua . .	37,5	—
= Berlin .	19,3	—	= Paris . .	20,0	—
= Bombay .	72—106	—	= Piſa . . .	34,5	—
= Delft . .	26,1	—	= Plymouth .	29,1	—
= Domingo .	11,3	—	= Rom . .	29,3	—
= Dordrecht	38,6	—	= Straßburg .	25,9	—
= Edinburgh	21,6	—	= St. Petersburg	16,0	—
= Göttingen	34,7	—	= Tübingen .	25,0	—
= Haag . .	26,6	—	= Ulm . . .	25,5	—
= Harderwyk	26,1	—	= Upmünſter	27,7	—
= Harlem .	23,2	—	= Upſala . .	22'0	—
= Hohenheim	24,6	—	= Utrecht . .	23,18	—
= Karlsruhe	24,3	—	= Venedig .	33,92	—
= Kendal .	60,5	—	Wälder des Orinoco u. Rio Negro	90—100	—
= Lancaſter .	38,5	—	Zu Wien . .	16,0	—
= Leiden . .	28,34	—	= Wittenberg	16,0	—
= Lund . .	17,39	—	= Zürch . .	32,0	—
= Lyon . .	37,0	—			
= Madeira .	29,1	—			

227. Die Hydrometeore ſtehen mit den Winden und dem Luftdrucke in enger Verbindung. Winde, deren Richtung zwiſchen Oſt und Weſt durch Süd liegt, ſind in Europa in der Regel feuchter, bewirken dadurch einen geringern Luftdruck und erzeugen leichter Waſſerniederſchläge als ſolche, deren Richtung zwiſchen Oſt und Weſt durch Nord fällt. Winde mit ſüdlicher Richtung bringen warme und daher mehr Waſſerdünſte enthaltende Luft zu uns und büßen ihre höhere Temperatur und dadurch auch ihre große Capacität für Waſſerdünſte ein. Weſtwinde kommen über eine große Waſſerfläche, mithin mit viel Dunſt beladen, zu uns und werden dadurch jenen ähnlich. Flaugergues will auch einen Zuſammenhang zwiſchen dem Mondesſtande und den Hydrometeoren bemerkt haben; denn bei ſeinen 18jährigen Beobachtungen zählte er im

Mittel beim Neumonde 77, beim erſten Viertel 82, beim Vollmonde 79, beim letzten Viertel 68, bei der Mondesferne 93 und bei der Mondnähe 78 Regentage. Siehe hierüber: Hube über die Ausdünſtung und ihre Wirkungen in der Atmoſphäre. Leipzig 1790. Unterſuchungen über die Wolken und andere Erſcheinungen in der Atmoſphäre von T. Forſter. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von Brandes. Leipzig 1820.

Siebentes Kapitel.

Electrometeore.

228. Sobald man die erſtaunlichen Wirkungen der künſtlich erregten Electricität erkannt hatte, mußte ihre Ähnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmoſphäre freie Electricität walte und daß die Erſcheinungen eines Gewitters von electriſchen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, dieſe Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Indem man nämlich einen papiernen, mit einem metallenen Stifte verſehenen Drachen aufſteigen ließ und ihn an einer ſeidenen Schnur hielt, die mit feinem Metalldraht umwunden war, bemerkte man am Ende der Schnur Zeichen von electriſcher Anziehung und Abſtoßung, wohl gar ſtechende Funken wie aus einer Leidnerflaſche. Heut zu Tage herrſcht über das Daſeyn der Electricität in der Atmoſphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann ſich von ihrem Daſeyn theils mittelſt iſolirter an hohen Stangen angebrachter Drähte theils mittelſt eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelſt einer etwa 1—2 Kl. langen Stange überzeugen, deren iſolirtes, mit einem glühenden Schwamm verſehenes Ende mit einem empfindlichen Electroſcope in Verbindung ſteht.

229. Man findet zwar bei jeder Witterung Spuren von atmoſphäriſcher Electricität, doch ſind ſie bei trockener Luft ſtärker als bei feuchter. Die allgemeinen Reſultate, welche ſich aus den Unterſuchungen über die Luftelectricität ergeben haben, ſind folgende: Bei heiterer Luft iſt die Electricität ſtets poſitiv und im Allgemeinen im Winter ſtärker als im Sommer, auf Ebenen ſtärker als auf Bergen, bei ruhigem Wetter ſtärker als während eines Windes. Ihre Intenſität wächſt von Unten nach Oben und ändert

ſich mit der Jahres- und Tageszeit. Sie erreicht täglich zweimal ihr Maximum und eben ſo oft ihr Minimum. Nach Schübler fängt ſie mit Sonnenaufgang an zu wachſen und erreicht einige Stunden darnach ihr erſtes Maximum, von da an nimmt ſie wieder ab und erlangt 1—2 St. vor Sonnenuntergang ein Minimum, ſteigt aber wieder von da an ſchnell und erreicht einige Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum. Von dieſem Augenblicke an fällt ſie die ganze Nacht hindurch, bis ſie mit aufgehender Sonne abermals zu ſteigen beginnt. Im Sommer tritt das erſte Maximum am früheſten, im Winter am ſpäteſten ein, während das zweite Maximum in Sommertagen am ſpäteſten, in Wintertagen am früheſten Statt hat. Bei ruhiger, heiterer Luft ſind die Variationen der *E.* größer als bei trüber und überhaupt im Mittel im Sommer faſt doppelt ſo groß als im Winter. Dichte Wolken, Nebel und naßkalte Witterung ſtören überhaupt den regelmäßigen Gang der Electricität völlig. Das aus der Luft fallende Waſſer iſt faſt immer, beſonders im Sommer, electriſch. Bei Nordwinden iſt es am häufigſten poſitiv, bei Südwinden am häufigſten negativ electriſch; die öſtlichen Winde haben mehr die Eigenſchaft der nördlichen, die weſtlichen mehr die der ſüdlichen Winde, doch ſind überhaupt negative Niederſchläge häufiger als poſitive. Starke Platzregen und Gewitterregen liefern mehr Electricität als ſanfte Landregen. Wolken ſind faſt immer negativ electriſch. Daher mag es kommen, daß die Luftelectricität oft ſo ſehr wechſelt. Volta beobachtete in einer Minute einen 14maligen Wechſel der Electricität. Hagel und Schnee ſind faſt immer electriſch, der Nebel verliert oft vor ſeinem Falle die Electricität. — Die Quelle der Luftelectricität mag wohl mannigfaltig ſeyn, allein ſeit Pouillet gezeigt hat, daß beim Ausſcheiden der im Waſſer aufgelöſten Salze, während der Verdünſtung des Waſſers und bei der Vegetation Electricität frei werde, muß man wohl in dieſem die Hauptquelle der atmoſphäriſchen *E.* ſuchen. Nach Pouillet liefert eine Flur von 25 Q. Klafter in einem Tage mehr poſitive Electricität als man zum Laden der ſtärkſten Batterie braucht.

230. Als eine Folge der Anhäufung der Electricität in der Luft iſt das Leuchten der Spitzen an Thürmen, Maſten der Schiffe u. ſ. w. welches man Eliasfeuer, St. Helena nennt, anzuſehen, und eines der erhabenſten Meteore, nämlich das Gewitter, deſſen weſentliche Erſcheinungen Donner und Blitz ſind. Gewit-

ter erfolgen in der Regel nur in windſtillen Tagen und in der warmen Jahreszeit und zwar aus folgenden Urſachen: 1) iſt im Sommer die Verdünſtung und die Menge aufſteigender Dünſte, welche Electricität mit ſich führen, am größten und der Vegetationsprozeß geht am lebhafteſten vor ſich. 2) Schweben die Wolken im Sommer höher und theilen deßhalb der Erde ihre Electricität nicht ſo leicht mit. 3) Sind die Nächte, wo die Luft am meiſten feucht iſt und der Erde Luftelectricität zuleitet, in dieſer Zeit am kürzeſten, und 4) bewirken die Sonnenſtrahlen in den Wolken leichter eine Verdünſtung und daher eine neue Anhäufung der Electricität. Der Juli iſt der gewitterreichſte Monat. Wintergewitter ſind nichts Unerhörtes, aber doch eine Seltenheit. In der Regel wird ein Ort deſto öfter von Gewittern heimgeſucht, je höher ſeine mittlere Temperatur iſt. An einigen Orten der heißen Zone findet in der heißen Jahreszeit regelmäßig alle Tage ein Gewitter Statt. Von einer Weltgegend kommen mehr Gewitter als von den übrigen. Meiſtens iſt die Südweſtſeite die Wetterſeite.

Nach Gronau ergibt ſich aus 120jährigen Beobachtungen zu Berlin die jedem Monate entſprechende mittlere Anzahl der Gewitter, wie folgt: Jänner 14, Februar 18, März 26, April 132, Mai 293, Juni 453, Juli 496, Auguſt 423, September 160, October 22, November 12, December 13.

231. Vor einem Gewitter häufen ſich die Wolken an einer Region beſonders ſtark an und nehmen an Dichte ſo zu, daß ſie ſtellenweiſe ein völlig ſchwarzes Ausſehen bekommen, gewinnen eine meiſtens abgerundete Geſtalt, zeigen ſtarke Abſtufungen der Beleuchtung und ſchweben meiſtens tief, es hängen an ihnen nach unten zu flockige graue Nebel, die Luft wird ſchwül, ſehr electriſch, es erfolgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der ſie unterbricht, verſtärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blaſen, in wirbelnder Bewegung Staub aufjagen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage ſieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken und faſt immer folgen ihnen Regengüſſe, nicht ſelten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Heftigkeit des Gewitters ab, weil er die Electricität ableitet, die Gewitterwolke wird fortgetrieben und zwar manchmal mit einer Geſchwindigkeit, die oft 8—24 Meilen in

1 St. beträgt, aber nicht nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, ſondern oft ſogar nach einer ganz entgegengeſetzten Richtung; oft zertheilt ſich die Wolke und die Luft erhält eine erfriſchende Kühle, wenn nicht wieder ein neues Gewitter im Anzuge iſt. Oft endet das Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel.

232. Der Blitz iſt ein electriſcher Funke, der in einer zackigen Linie, wie der Funke aus dem Conductor großer Electriſirmaſchinen, zwiſchen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde Statt findet. Im letzteren Falle ſagen wir, er ſchlage ein. Der Weg, den er nimmt, ſeine Farbe, ſeine Wirkungen auf irdiſche Gegenſtände, z. B. die gewaltige Erſchütterung, das Durchbohren und Zertrümmern ſchlechter Leiter, das Schmelzen und Oxydiren der Metalle, das Verglaſen der Erden, das beſonders in ſandigen Gegenden Statt findet und die ſogenannten Blitzröhren (Gilb. Ann. Ribbentrop über Blitzröhren. Braunſchweig 1830) erzeugt, das Entzünden brennbarer Subſtanzen, das Tödten der Thiere, ſind genau ſo, wie ſie ſich von einem ſo verſtärkten, electriſchen Funken erwarten laſſen und wie man ſie mittelſt einer Electriſirmaſchine in ſehr verjüngtem Maßſtabe hervorbringt. So lange nicht ausgemacht iſt, ob die Anſicht der Unitarier oder der Dualiſten (S. 531) die wahre ſey, wird man wohl die Frage, ob beim Einſchlagen der Blitz von der Wolke auf die Erde herabfahre oder eine entgegengeſetzte Richtung nehme, nicht beantworten können. Vor der Hand kann man nur ſagen, der Blitz fahre von jenem Körper, welcher der urſprünglich electriſche iſt, in den, welcher durch Vertheilung electriſirt worden.

233. Der Donner iſt der heftige Knall, welchen der electriſche Funke erzeugt, wenn er die Luft durchbricht. Sein Rollen entſteht theils aus der Reflexion des Schalls durch Wolken, Berge u. ſ. w., theils aus der ungleichen Entfernung der Theile des Weges, den der Blitz nimmt, von uns. In der Regel iſt der Donner, welcher den einſchlagenden Blitz begleitet, mehr praſſelnd, der, welcher von einer Wolke zur anderen fährt, mehr rollend; im letztern Falle kann man auch, nach Bellani's Bemerkung, den aus der Wolke hervorbrechenden Blitz wohl vom matten Lichte unterſcheiden, das ſich gleich darauf durch die ganze Wolke erſtreckt. Blitze, die ſehr weit entfernt und nur von ſchwachen Donnerſchlägen begleitet ſind, erſcheinen ohne Donner. Oft ſind ſolche auch

blos reflectirte Blitze eines unter dem Horizont, befindlichen ſtarken Gewitters.

234. Der Umſtand, daß der Blitz ſich nach denſelben Geſetzen richtet, welche dem gemeinen electriſchen Funken den Weg vorſchreiben, brachte Franklin auf die Erfindung der Blitzableiter. Dieſe ſind eiſerne, ſtarke ($\frac{3}{4}$ W. Zoll im Durchſchnitte), an einem Ende zugeſpitzte und zur Verhütung des Roſtens vergoldete oder mit einer Platinſpitze verſehene Stangen, die auf einem Gebäude ſo errichtet werden, daß ſie 3—4 Fuß über die höchſten Theile desſelben hervorragen. Da ſich die Wirkſamkeit einer ſolchen Stange, nach Charles, auf einen Umkreis erſtreckt, deſſen Halbmeſſer der doppelten Höhe der Stange gleicht, ſo müſſen größere Gebäude mit mehreren ſolchen Stangen verſehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelſt eiſener Stangen oder Kupferſtreifen oder nach Yelin mittelſt Meſſingdrähten in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmaſſe eines Gebäudes ſoll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate ſtehen. Bei einer guten Einrichtung dieſer Stangen wird ein Gebäude vor Blitzſchlägen hinreichend geſichert ſeyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abſpringen, wenn er ſo ſtark iſt, daß ihn der Conductor nicht faſſen kann, oder wenn er das Metall ſchmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmaſſe kommt, die durch Vertheilung electriſirt iſt und nicht mit der Ableitungsſtange in Verbindung ſteht. Dasſelbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbſt im letzteren Falle wird nicht viel zu befürchten ſeyn, weil ein ſolcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Näſſe des Daches ſelbſt ableitet. Strohſeile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Geſetze der *E.* fremd ſind. Überhaupt darf man, um die Wirkungsweiſe eines Blitzableiters nicht von einer falſchen Seite zu betrachten, nicht vergeſſen, daß ein Ableiter nur in ſo ferne wirkt, als er durch Vertheilung electriſch geworden iſt und die mit der Luftelectricität gleichnamige *E.* in die Erde abgegeben hat. Darum iſt eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde ſo weſentlich. Ja wenn dieſe nicht Statt findet und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Vertheilung electriſirt iſt; ſo werden ſich beide Electricitäten desſelben nach Abzug dieſer Wolke mächtig zu vereinigen ſuchen und auf die Körper, die dieſer Vereinignng im Wege ſtehen, wie ein Blitzſchlag wirken. Man

nennt dieſes Phänomen den Rückſchlag. (Siehe: Raimarus Vorſchriften zur Anlegung einer Blitzableitung an allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Anweiſung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1.403.)

Die Kenntniß der Geſetze der künſtlich erzeugten Electricität gibt ſchon die Regeln an die Hand, durch die man ſich am beſten vor Blitzſchlägen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichſt meide. Deßhalb ſoll man ſich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchſte Gegenſtand der Umgebung zu ſeyn ſuchen, keine gar ſtarke Bewegung machen, damit die Ausdünſtung nicht zu ſehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häuſern gehen, ſondern lieber die Mitte einer Straße ſuchen, ſich im Zimmer von Fenſtergittern, Glockenzügen, ja ſogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichſt dunſtfreie Orte ſuchen u. ſ. w.

235. Gewitter ſind auch häufig von Hagel begleitet. Dieſer beſteht aus Eiskörnern von verſchiedener Größe (1 Linie bis 3—6 Zoll im Durchmeſſer), die von Außen eine dichte, durchſichtige Eisrinde, im Innern einen undurchſichtigen Kern aus Schnee, oft gar aus einer heterogenen Maſſe haben. Er fällt in einigen Gegenden viel öfter als in anderen, kommt zu allen Tagszeiten, am Tage und bei Nacht, doch in letzterer ſeltener vor; man hat ihn bei allen Temperaturen über und unter 0° beobachtet, doch ſcheint er nur der gemäßigten Zone eigen zu ſeyn, indem ein Hagelfall in den Tropenländern, unter 350 T. Höhe, zu den größten Seltenheiten gehört und auch in den Polargegenden nicht oft vorkommt. Er fällt in der Regel nur im Sommer. Die Wolken, welche ihn führen, ſind tief, aufgedunſen, an den Rändern zerriſſen und haben an ihrer Oberfläche unregelmäßige Hervorragungen. Ihre Höhe über der Erde iſt meiſtens nur 400 Fuß, doch hat man auch ſehr hohe Hagelwolken beobachtet.

236. Über die Entſtehung des Hagels haben ſehr verdiente Gelehrte, wie z. B. Volta, v. Buch, Lichtenberg ꝛc. ihre Anſichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derſelben ſich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze ſo große Eismaſſen entſtehen können. Zu dieſem Behufe nimmt Volta an, daß im Sommer die Wolken ſehr hoch ſteigen und in

ſehr trockene Luftſchichten kommen. Beſcheint ſie nun die Sonne, ſo entſtehen an ihrer obern Fläche Dünſte, die in die Höhe ſteigen, aber dabei in kältere Luftſchichten gelangen und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden. Dieſe zwei über einander ſchwebenden Wolken müſſen entgegengeſetzte E haben und zwar die untere $-E$, die obere $+E$; die in der untern Wolke angefachte Verdünſtung bindet Wärme und bringt die Waſſertheile in derſelben zum Gefrieren. Die ſo entſtandenen Eisſtücke werden zwiſchen den zwei electriſchen Wolken abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen, wie leichte Körper beim electriſchen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis ſie die Electricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo ſie dann herabfallen. — Gegen dieſe Anſicht ſpricht aber, daß nach Gay-Luſſac's Verſuchen bei einer Temperatur über 8° *C.* ſelbſt in trockener, geſchweige erſt in der gewöhnlichen, meiſt ſchon Dünſte enthaltenden Luft, durch Verdünſtung keine Kälte erzeugt werden kann, wie ſie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand, ſo viele ſich auch in Hagelwolken befanden, das Oscilliren der Hagelkörner beobachten konnte, daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felſenvorſprüngen, Bäumen ꝛc., wohin ſie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß ſelbſt der electriſche Tanz, dem das Oscilliren der Hagelkörner ähnlich ſeyn ſoll, zwiſchen einer Metallplatte und einer Waſſerfläche nicht vor ſich geht ꝛc. — Nach v. Buch entſteht an Stellen, wo ſich die Erde ſehr ſtark erhitzt, ein aufſteigender Luftſtrom, der die feuchte Luft zu einer ſolchen Höhe emporführt, daß ſchon beim Aufſteigen und noch mehr in der oberſten Stelle ſehr viel Waſſer daraus ausgeſchieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünſtet, gefriert, durch neuen Dunſtniederſchlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und ſo Hagelkörner bilden. Auch mit dieſer Anſicht ſteht die Wärmebindung beim Verdunſten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen hygroſcopiſchen Zuſtande der Luft durch Verdünſtung keine ſolche Kälte entſtehen kann; auch ſieht man daraus nicht ein, warum Hagel ſtets nur bei Gewitterausbrüchen Statt findet, man begreift nicht, wie ſich beim Herabfallen der anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner ſo große, als ſie bereits beobachtet worden ſind (zu Maſtricht fielen am 3. Auguſt 1827 Eisſtücke von 6 Z. Durchmeſſer), bilden können, wie ein Hagelfall möglich ſey, der ſich über ganze Länder erſtreckt (Arago erwähnt eines ſolchen Falles, der ſich durch ganz Frankreich bis nach

Holland erſtreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es iſt leicht einzuſehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiſerne im Freien aufgerichtete Stangen, die man als ſolche empfahl, können die *E* aus ſo hoch ſchwebenden Wolken nicht ableiten, wie die ſind, worin ſich der Hagel bildet, und daher ſelbſt nach Volta's Anſicht auch nicht die Bildung desſelben hindern; iſt er aber bereits gebildet, ſo können ſie ihn höchſtens durch Einſaugen der *E* zum Fallen bringen, und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unſere theoretiſche Einſicht, ihre Wirkung ſo groß ſeyn, als man hie und da behauptet; ſo bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter ſeyn ſollten. Daß ſie aber dieſes nicht ſind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern verſehene Gebäude eben ſo gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit ſeiner niederen Vegetation.

237. Von der Luftelectricität rührt höchſt wahrſcheinlich jene Erſcheinung her, die man Waſſerhoſe nennt. Man bemerkt nämlich, daß das Meer unter einer electriſchen Wolke plötzlich zu wallen und unruhig zu werden anfängt, zur Geſtalt eines hohlen 2—200 F. dicken und 30—1500 F. hohen Kegels anſchwillt, und ſich ſammt der Wolke zum großen Schaden der Schiffe, die ihm in den Weg kommen, forttreibt und dabei ſich beſtändig um eine Axe dreht. Wenn ſich die Wolke und der Waſſerkegel vereinigen, oder nur ſich ziemlich nahe kommen, ſtürzt jene als Regenguß herab; manchmal tritt ſie auf das Land hinaus und bewirkt am Lande dasſelbe, wie im Waſſer, wo dann eine Erſcheinung eintritt, die man Erdtrombe nennt. Fig. 353 gibt die Abbildung von Waſſerhoſen. Beide Phänomene entſtehen meiſtens blos in der Nähe des Landes und unter dem Einfluſſe eines ſtarken Temperatur- und Windwechſels, erſcheinen nie bei ausgedehnten Gewittern oder bei einem weit um ſich greifenden Winde. Kanonenſchüſſe ſollen ſie, nach der Ausſage der Seeleute, zerſtören. (Gilb. Ann. 6. 30. und 158: 7. 49; 83. 95.)

238. Zu den electriſchen Erſcheinungen gehört auch das Nordlicht. Dieſes zeigt ſich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Geſtalt eines kreisförmigen,

vom Horizont begrenzten Segmentes, deſſen Mittelpunct im magnetiſchen Meridiane zu liegen ſcheint und das mit einem hellen Ringe umgeben iſt, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüſchel von verſchiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, ſich manchmal bis zum Zenith erſtrecken, daſelbſt eine Art Krone bilden, deren Mittelpunct in der verlängerten Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen ſcheint. Einige beſonders ſtarke Nordlichter ſollen auch ein Geräuſch verbreitet haben, wie das iſt, welches ein Luftzug verurſacht, doch wird dieſes von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 354 ſtellt ein Nordlicht vor. Man ſieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und ſchöner als bei uns, ja wir ſehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufſteigen, um über unſeren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geog. Breite iſt dem Erſcheinen der Nordlichter gleich günſtig. Nach einigen ſollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter ſichtbar ſeyn als im nördlichen Europa. An demſelben Orte iſt manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen ſie eine beſtimmte Periode. Eine ähnliche Erſcheinung findet man auch am Südpole und nennt es Südlicht. Zur Erklärung dieſer merkwürdigen Erſcheinung haben Halley, Euler, Mairan, Franklin, Hell, Lichtenberg, Dalton, Biot, Hanſteen das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes ſagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Oſt nach Weſt zeigt, ſo muß es an der Axendrehung der Erde Theil nehmen und daher in der Atmoſphäre ſeinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes ſoll 25000 Meter ſeyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig, aber nicht immer die Magnetnadel und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abſtoßt, wirkt aber auf nicht magnetiſche, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat dabei mit dem Ausſtrömen der Electricität viele Ähnlichkeit und läßt ſich nach Thienemann gerade da am häufigſten ſehen, wo die wenigſten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Electricität einen Antheil an ſeiner Erſcheinung haben. Wichtig iſt Hanſteen's Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabſinkt. Aus allen dieſem geht hervor, daß das Nordlicht in einer electriſchen

Entladung beſtehe, über deren nähere Natur erſt weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müſſen. (Zeitſch. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Achtes Kapitel.

Lichtmeteore.

239. Es gibt viele Meteore, die ihr Entſtehen ganz den Modificationen verdanken, welche das Licht beim Durchgange durch die Luft erleidet. Die vorzüglichſten derſelben ſind: 1) die Geſtalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das ſogenannte Waſſerziehen der Sonne, 5) die aſtronomiſche Strahlenbrechung und Luftſpiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixſterne, 7) Nebenſonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

240. Die atmoſphäriſche Luft iſt zwar keineswegs vollkommen durchſichtig, doch iſt ihre Durchſichtigkeit ſo groß, daß ſie uns erſt in Schichten von ſehr bedeutender Dicke ſichtbar wird. Zur Beurtheilung der Entfernung der ſichtbaren Luftſchichten haben wir kein anderes Hülfsmittel, als die verſchiedene Intenſität der von ihnen in unſer Auge gelangenden Strahlen. Da nun dieſe Intenſität in der Regel rings um uns in gleicher Höhe gleich groß, nahe am Zenith aber größer iſt, als tiefer abwärts; ſo ſcheint die ſichtbare Luftmaſſe unſere Erde wie eine am Zenith etwas eingedrückte Kugel zu umſpannen. Daß ſie uns blau erſcheint, vermögen wir freilich nicht weiter zu erklären. Es liegt in der Natureinrichtung, daß von den durch die Erde der Luft zugeſendeten Strahlen gerade die blauen vorzugsweiſe reflectirt werden. Die Durchſichtigkeit der Luft wird durch mehrere Umſtände, vorzüglich durch beigemengte Stoffe und durch Wärmewechſel, bedeutend abgeändert, und darum wechſelt die Farbe des Himmels vom intenſivſten Blau, durch alle Abſtufungen desſelben bis zum blaſſeſten und zur gänzlichen Undurchſichtigkeit. Beigemengtes expanſibles Waſſer macht die Luft durchſichtiger und erhöht daher den Ton ihrer blauen Farbe, aus demſelben Grunde, aus welchem Papier durch Öhlen durchſichtiger wird (S. 353), daher auch ein ſehr dunkelblauer Himmel auf die Gegenwart vieler Dünſte ſchließen läßt. So wie aber dieſe Dünſte ihre Ausdehnſamkeit verlieren,

machen ſie den Himmel blaſſer und können ihm ſeine Durchſichtigkeit ganz benehmen. Andere nicht ausdehnſame, in der Luft befindliche Stoffe, wie z. B. der ſogenannte Sonnenſtaub, wirken wie fein zertheiltes Waſſer. Daher iſt es begreiflich, warum der Himmel auf hohen Bergen ein dunkleres Blau hat, als in Thälern. Beim Sehen durch Fernröhre, bei Verſuchen mit Brennſpiegeln ꝛc. überzeugt man ſich von Änderungen der Durchſichtigkeit der Luft, die man mit freiem Auge gar nicht wahrnimmt. Sie rühren wahrſcheinlich von der ungleichen Vertheilung der Wärme in der Luft und vom Wechſel ungleich warmer Luftſchichten her, die wie heterogene Mittel auf das Licht wirken. Sauſſure hat die Bläue des Himmels mittelſt eines eigenen Inſtrumentes (Cyanometer) beſtimmt. — Der Grund dieſer unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft liegt gewiß darin, daß ſie kein ſtetiges Gemenge von ungleichartigen Körpern iſt; denn ein Lichtſtrahl wird nothwendig bei jedem Übergange von einem Theilchen in den leeren Raum zum Theile reflectirt. Dieſes zeigt ſich vorzüglich dadurch, daß die Bläue des Firmamentes deſto dunkler iſt, je mehr Waſſerdünſte ſich in der Luft befinden, mithin je ſtetiger das Gemenge iſt. Auf hohen Bergen fand Sauſſure die Luft völlig dunkelblau, und ſelbſt in der Ebene erſcheint ſie uns nach einem Regen, beſonders an der der Sonne gegenüberſtehenden, heiteren Seite, von einem ſehr geſättigten Blau, das gegen die Sonne hin immer blaſſer wird und zuletzt völlig in Weiß übergeht.

Sauſſure's Cyanometer beſteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichteſten bis zum dunkelſten Blau wechſelt. Man erhält ſie durch Vermiſchung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verſchiedenen, beſtimmten Verhältniſſen. Die Zahl des Feldes, deſſen Blau mit dem des Himmels übereinſtimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Parrot hat ein anderes Cyanometer angegeben. (Gilb. Ann. 24. 69.) — Leslie beſtimmt die Durchſichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat und mit der anderen im Brennpuncte eines paraboliſchen Hohlſpiegels ſteht. Dieſe Kugel erkaltet deſto mehr, je heller der Himmel iſt. Er nennt dieſes Inſtrument Äthrioſcop.

241. Wenn der weſtliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen iſt, ſo ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerſcheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verſchiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb

und Hellroth bis zum Dunkelroth wechſelt. Sie entſteht höchſt wahrſcheinlich durch Beugung des Lichtes, iſt aber noch keineswegs ſo genau erklärt worden, als zu wünſchen wäre. Am Morgen zeigt ſich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Oſtſeite dasſelbe Phänomen, und zwar deſto ſchöner und ausgedehnter, je mehr Dünſte in der Luft ſind, und heißt Morgenröthe. Sein Entſtehen iſt dem vorigen analog.

242. Weil die Dünſte das Licht ſtärker brechen, als die reine Luft, ſo müſſen ſie, wenn ſie vom Winde hin und her bewegt werden, eine Erſcheinung an den Geſtirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich iſt. Geſchieht dieſes ſehr ſchnell, ſo erſcheinen die Sterne auch größer und heller. Es iſt bekannt, daß man das Stattfinden dieſer Erſcheinung für einen Vorboten naſſer Witterung anſieht. Aus der ſtarken Lichtbrechenden Kraft der feuchten Luft erklärt ſich auch die auffallende, ſcheinbare Nähe ſonſt ferner Gegenſtände.

243. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke ſteht, das nahe daran iſt, Regen herabzuſchütten, und durch einige Öffnungen desſelben hindurchſcheint und die Luft beleuchtet; ſo reflectiren die Dünſte das Licht, und es erſcheinen Streifen, die lichter ſind, als ihr Grund. Dieſe Streifen ſcheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und ſich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn ſich dort die Sonne befände. Dieſes Phänomen, welches unter dem Namen Waſſerziehen der Sonne bekannt iſt, verkündet baldigen Regen. Es erſcheint im Sommer öfter als im Winter und bei niederem Sonnenſtande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es ſich, daß man Strahlen ſieht, die von einem der Sonne gerade entgegengeſetzten Puncte des Firmamentes auszufahren ſcheinen, aber immer viel ſchwächer ſind, als die vorhin beſprochenen. Sie beruhen auf demſelben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengeſetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünſten der unteren Luftregion eben ſo ſichtbar, wie ein Lichtſtrahl in einem dunklen Zimmer durch Reflexion in den feinen, in der Luft ſchwebenden Stäubchen, und wiewohl dieſe Strahlen parallel ſind, ſo ſcheinen ſie doch durch optiſche Täuſchung gegen die fernſten Stellen zu convergiren, gerade ſo wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteſte Ende zu convergiren ſcheint.

244. Wenn das Licht in die Atmoſphäre eintritt, ſo erleidet

es eine Brechung zum Einfallslothe; dasſelbe erfolgt, ſo oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtſtrahl, der durch die ganze Atmoſphäre zu uns gelangt, eine nach Oben convexe Bahn beſchreiben, die deſto mehr gekrümmt iſt, je länger der in der Atmoſphäre zurückgelegte Weg des Lichtes iſt. Die Wirkung dieſer Krümmung der Bahn eines Lichtſtrahles iſt, daß jeder Punct, der einen ſolchen Strahl in unſer Auge abwärts ſendet, höher zu liegen ſcheint. Am Horizonte iſt dieſe Wirkung am größten und am unregelmäßigſten, je näher dem Zenithe, deſto kleiner und regelmäßiger erſcheint ſie, bis ſie im Zenithe ſelbſt ganz verſchwindet. Die Kenntniß dieſer Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdiſchen Objecten kommen, irdiſche, wenn ſie von Himmelskörpern kommen, aſtronomiſche Strahlenbrechung nennt, iſt bei der Beſtimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derſelben geht die Sonne früher auf und ſpäter unter, ſo daß dadurch der längſte Tag bei uns nahe um 8.5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont über 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.

245. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel ſo, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach Oben convexe Bahn einſchlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner iſt als unten, allein es gibt doch Fälle, wo das Gegentheil Statt findet und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenſtänden, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und ſelbe ſichtbar machen, es können auch dieſe ſowohl als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verſchoben, in der Luft ſchwebend erſcheinen, wie Fig. 355 zeigt. Alle dieſe Phänomene ereignen ſich nur in großen Ebenen und ſind unter dem Namen der Luftſpiegelung, Seegeſicht, Kimmung bekannt. Es ſey *AB* (Fig. 356) ein Gegenſtand, der ſich unter dem Horizont *OH* des Auges *O* befindet. Werden die Strahlen, welche von *AB* ausgehen, ſo gebrochen, daß ſie die Krümmung *AO* und *BO* bekommen, ſo erſcheint *AB* über *OH* in *ab*. Werden die Strahlen, welche ſonſt über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasſelbe abgelenkt, ſo kann nebſt *ab* auch noch ein zweites Bild *a′b′* erſcheinen, das ſogar verkehrt ſeyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Linie beſchreibt als der obere.

246. Bei feuchter Witterung ſieht man nicht ſelten den Himmel mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen, und die Sonne, den Mond oder auch Fixſterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter iſt, als der übrige Theil des Firmamentes und Hof heißt. Dieſer zeigt ſich oft mit Regenbogenfarben. Man unterſcheidet aber zweierlei Höfe, kleinere mit dem Körper, den ſie umgeben, zuſammenhängende, die, falls ſie gefärbt erſcheinen, nach Außen roth ſind und bald einen größeren, bald kleineren Durchmeſſer haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abſtehende, bei denen die rothe Farbe nach Innen gekehrt iſt und deren Durchmeſſer gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt ſo großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 357 zeigt dieſes Phänomen.

247. Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunſtkügelchen, die einen undurchſichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunſtbläschen zu erklären geſucht. Die neueſte Erklärung hat Fraunhofer geliefert, die der Natur der Sache mehr entſpricht, als alle früheren. Die kleineren Höfe erklärt Fraunhofer aus einer Beugung der Lichtſtrahlen, die an den Rändern der in der Atmoſphäre ſchwebenden Dunſtkügelchen vorbeifahren. Er beweiſet, daß dieſe Beugung gerade ſo vor ſich gehe, als wenn das Licht durch eine Öffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmeſſer geleitet würde, und überzeugte ſich, daß man im Geſichtsfelde eines achromatiſchen Fernrohres die S. 338 beſchriebenen, einem Hofe der kleineren Art völlig ähnlichen Farbenringe ſieht, wenn man vor dem Objectivglaſe ſehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Öffnung einen ſtarken Lichtſtrahl darauf leitet. Dieſe Ringe ſind deſto größer, je kleiner die Glaskügelchen ſind. Es ſtellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 358 Dunſtkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde *S* directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden und nach der Beugung unter verſchiedenen Winkeln ausfahren. Geſetzt es fahren die vom Kügelchen *b* gebeugten ſo aus, daß rothe Strahlen, welche den erſten Ring bilden, ins Auge *o* gelangen, ſo werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen, und den Weg *bf*, *bg* einſchlagen. Dafür können vom Kügelchen *a* die rothen des zweiten Ringes nach *o* gelangen. Auf ähnliche Weiſe geſchieht es mit den

Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunſtkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerſtreut, ſo ſieht das Auge *o* Farbenringe um *S*, wovon der erſte, rothe in einem Abſtande *boS*, der zweite rothe in einem Abſtande *aoS* vom leuchtenden Körper erſcheint. Haben die Dunſtkügelchen beinahe einerlei Größe, ſo haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmeſſer, ſie fallen auf einander und verſtärken den Eindruck jedes einzelnen; haben ſie aber eine verſchiedene Größe, ſo fallen die Ringe von verſchiedener Farbe an denſelben Platz, die Farben werden matter oder verſchwinden ganz, ſo daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Körper übrig bleibt. Sind die Dunſtkügelchen groß, ſo werden die Farbenringe ſehr klein und können um größere und heller leuchtende Geſtirne nicht mehr geſehen werden, theils weil des größeren Durchmeſſers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in ſo großer Nähe beim leuchtenden Körper verſchwindet. In dieſem Falle können aber noch um Fixſterne Höfe erſcheinen. Man begreift wohl, daß man in einem ſehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof wahrnehmen kann und daß der Mond und die Sonne durch ein ſtark mit Dünſten beſchlagenes Fenſter mit einem Hof erſcheinen muß, während man im Freien dieſes nicht bemerkt. — Die größeren Höfe erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskryſtallen aus ſechsſeitigen oder dreiſeitigen Prismen. Er zeigt, daß ſie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexion in Dunſtkügelchen oder Dunſtbläschen abgeleitet werden können, beſtimmt aus ſeiner Formel den Durchmeſſer der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen ſehr wohl übereinſtimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuſpitzung, ſo laſſen ſich aus einer Brechung des Lichtes in denſelben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein ſolches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren desſelben, ſogar ein dritter, wie ihn Hevel geſehen haben will, vollſtändig, dem Maße nach erklären.

248. Manchmal ſieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebſt der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebenſonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden ſich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes, deſſen Breite dem ſcheinbaren Durchmeſſer des Geſtirnes gleicht und der ſelbſt von farbigen Höfen, die das Geſtirn umgeben, durchſchnitten wird. Die Nebenſonnen und Nebenmonde

ſtehen in dem Durchſchnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht ſelten vom Geſtirne abgewendete, weiße, lange Schweife, und ſind auch manchmal mit dem wahren Geſtirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 359.) Man bemerkte auch ſchon Nebenſonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmeſſer des gerade aufgehenden Geſtirnes an Breite gleichen Säule. — Auch dieſe Phänomene hat Fraunhofer zuerſt mit allen Nebenumſtänden völlig genau erklärt. Der Umſtand, daß die aufgehende Sonne durch ein Gitter angeſehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abſtehenden Fäden beſteht, das Phänomen der verticalen Nebenſonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, dieſe Erſcheinung entſtehe durch Beugung des Lichtes an den Dunſtkügelchen der Atmoſphäre. Man denke ſich in einer Schichte des Dunſtkreiſes Dunſtkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet ſind, aber doch ſo liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizont befindlichen Sonne auf ſie ein, ſo werden ſie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken ſie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler, und bringen dieſelben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Daß keine Farben zum Vorſchein kommen, rührt davon her, daß wegen der Ausdehnung des Sonnendurchmeſſers die verſchiedenfarbigen Streifen in einander fallen und durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe erzeugen. Weil der Abſtand der Mitte je zweier Dunſtkügelchen an verſchiedenen Tagen verſchieden ſeyn kann, ſo iſt auch der Abſtand der verticalen Nebenſonnen nicht immer nothwendig derſelbe, und weil dieſer Abſtand für verſchiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich ſeyn kann, ſo erſcheint oft gar keine Nebenſonne, ſondern nur ein verticaler Lichtſtreifen, d. i. eine ſogenannte Feuerſäule, wie man ſie manchmal ſieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erſcheinung lehrt Fraunhofer künſtlich hervorbringen. Radirt man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber ſehr ungleich von einander abſtehende Linien, und ſieht durch dieſes, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne, ſo ſieht man zu beiden Seiten derſelben einen horizontalen, weißen Lichtſtreifen ausgehen, der ſo breit iſt, wie der ſcheinbare Sonnendurchmeſſer, und ſo lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein ſolches Glas an, worin gerade, von einem

Puncte ausgehende Linien gezogen ſind und welches gegen die Sonne gehörig geneigt iſt, ſo erblickt man einen vollſtändigen weißen Kreis. Gibt es nun im Dunſtkreiſe kleine Körperchen, z. B. Dunſtkügelchen, Kryſtalle, die für den horizontal kommenden Lichtſtrahl in verticalen Linien zu liegen ſcheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben und deren Abſtände gegen ihren Durchmeſſer ſehr klein ſind; ſo bieten ſie den Lichtſtrahlen im verticalen Sinne keine Zwiſchenräume dar, ſondern decken ſich, und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt und gelangen ſo ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farbenloſigkeit kommt wieder von der verſchiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verſchiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, ſo bemerkt man auch einen verticalen Lichtſtreifen vom leuchtenden Körper aus, ſo daß dieſer mit einem Kreuze erſcheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchſchneidet, muß eine größere Lichtſtärke herrſchen, und es muß daſelbſt eine horizontale Nebenſonne erſcheinen, die noch dadurch verſtärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwiſchenräumen der Eiskryſtalle nach dieſer Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebenſonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an beſtimmten Stellen (wo ſie den größeren Hof bilden) am ſtärkſten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieſer Stelle noch eine empfindbare Stärke haben (Theorie der Höfe, Nebenſonnen von Fraunhofer, in den aſtronomiſchen Nachrichten herausgegeben von Schuhmacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67.)

Dieſe Lichtphänomene ſind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebenſonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe ſollen ſich beſonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel ſich zeigt und auch deſto größer ſeyn, je größere Flocken dieſe Wolkenart bildet. Große Ringe, Nebenſonnen, Nebenmonde ꝛc. fordern zu ihrem Entſtehen entweder den Stratus oder den Cirroſtratus. (Mayer in Kaſt. Arch. 13.237.)

249. Eine der ſchönſten Lufterſcheinungen iſt der Regenbogen. Er erſcheint in jenen Regenwolken, die von der Sonne beſchienen werden und dem Auge des Beobachters gegenüber ſtehen,

zeigt die gewöhnlichen prismatiſchen Farben, wovon Violett nach Innen, Roth nach Außen vorkommt. Wenn dieſe Farben recht lebhaft ſind, ſo bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmeſſer, als jener des erſteren iſt, ſeine Farben ſind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, ſo daß die innere roth, die äußere violett iſt. Manchmal zeigen ſich nur Stücke eines Regenbogens, ſogenannte Regengallen. Regenbogen, welche unter denſelben Bedingungen durch den Mond entſtehen, wie die genannten durch die Sonne, ſind nicht ſo häufig und immer matter als erſtere. — Die Entſtehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der ſie begleitenden Farbenzerſtreuung in den herabfallenden Waſſertropfen. Es ſey (Fig. 360) *AB* ein Regentropfen, *C* ſein Mittelpunct, *SA* ein Sonnenſtrahl, der mit dem Horizont *OH* den Winkel *SHO* macht. Dieſer wird beim Auffallen auf *A* nach *B* gebrochen, da zum Theile reflectirt und beim Austritte wieder ſo gebrochen, daß er nach *O* gelangt. Man kann durch Rechnung zeigen, daß die Strahlen, welche parallel auf *A* auffallen, auch wieder faſt parallel nach *O* reflectirt werden, wenn $AGB = 59^\circ\ 24'$ iſt, und daß daher, wenn in *O* das Auge des Beobachters ſteht, es das Sonnenbild deutlich nach der Richtung *OE* ſehen wird. Bei der Brechung wird der Lichtſtrahl zugleich in ſeine farbigen Beſtandtheile zerlegt ſo, daß von den in und um *A* auffallenden Strahlen nur eine Gattung derſelben ins Auge kommen kann. Die Rechnung lehrt, daß, wenn der Winkel *SEO*, welchen der auffallende Strahl mit dem gebrochenen macht, $40^\circ\ 16'$ beträgt, nur violette, wenn er aber $42^\circ\ 2'$ beträgt, nur rothe Strahlen nach *O* kommen werden, während bei einem Winkel, der größer als jener, aber kleiner als dieſer iſt, das Auge von den zwiſchen Roth und Violett liegenden getroffen wird. Denkt man ſich daher *OF* parallel mit *SA*, $EOF = 42^\circ\ 2'$, $E'OF = 40^\circ\ 16'$, ſo ſieht man leicht, daß alle Tropfen, welche unter demſelben Winkel Strahlen ausſenden und rings um *OF* herumliegen, das Bild eines gefärbten Bogens erregen werden, deſſen Breite $42^\circ\ 2' - 40^\circ\ 16' + 30'$ (als ſcheinbarer Sonnendurchmeſſer), $= 2^\circ\ 16'$ beträgt, und deſſen Höhe von der Sonne abhängt.

Es ſei *C* (Fig. 361) der Mittelpunct eines Waſſertropfens, *SA* ein einfallender Strahl, $CAK = e$ der Einfallswinkel, *AB* die Richtung des gebrochenen Strahls und $CAB = r$, ferner *BD* die Rich-

tung des reflectirten Strahles, woraus folgt $ABC = CBD = r$, und DF die Richtung des austretenden Strahles, mithin $SKF = 2\omega$ der Winkel, den der Strahl nach zwei Brechungen und einer Reflexion mit dem directen Strahle macht. Es iſt klar, daß die den Winkel ABD halbirende Linie CB verlängert auch AKD halbirt, und daß man hat

$$r = e - r + \omega$$
$$\omega = 2r - e.$$

Iſt nun SA ein Strahl, der nach ſeinem Austritte aus D zu den wirkſamen gehört, ſo darf ſich ω für einen Strahl, der mit SA parallel eintritt, nicht ändern. Wird nun für einen ſolchen Strahl aus r, $r + \rho = r'$ und aus e, $e + \varepsilon = e'$, ſo hat man dafür

$$\omega = 2\,(r + \rho) - (e + \varepsilon) = 2r - e + 2\rho - \varepsilon$$
$$\omega = \omega + 2\rho - \varepsilon \text{ d. i.}$$
$$2\rho = \varepsilon \ (a)$$

Heißt das Brechungsverhältniß von Luft in Waſſer $n:1$, ſo iſt

$$\sin e : \sin r = n : 1 \text{ und}$$
$$\sin e = n \sin r \ (b)$$
$$\sin (e + \varepsilon) = n.\sin\ (r + \rho)$$
$$\sin e.\cos\varepsilon + \sin\varepsilon.\cos e = n.\sin r.\cos\rho + n.\sin\rho\cos r \text{ d. i.}$$
$$n.\sin r.\cos\varepsilon + \sin\varepsilon.\cos e = n.\sin r.\cos\rho + n.\sin\rho\cos r\ (c)$$

Weil aber der genannte Strahl, wenn ihn ein Auge zugleich mit dem erſten ſoll aufnehmen können, ſehr nahe am erſteren liegen muß; ſo wird

$$\cos\varepsilon = 1, \sin\varepsilon = \varepsilon,\ \cos\rho = 1,\ \sin\rho = \rho, \text{ mithin aus } (c)$$
$$n.\sin r + \varepsilon.\cos e = n \sin r + n\,\rho.\cos r \text{ oder}$$
$$\varepsilon.\cos e = n.\rho.\cos r \text{ und aus } (a)$$
$$2.\cos e = n.\cos r, \text{ mithin}$$
$$4.\cos e^2 = n^2 \cos r^2, \text{ ferner aus } (b)$$
$$\sin e^2 = n^2 \sin r^2 \text{ daher}$$
$$4.\cos e^2 + \sin e^2 = n^2\,(\cos r^2 + \sin r^2) = n^2$$
$$4.\cos e^2 + 1 - \cos e^2 = n^2 \text{ und}$$
$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$$

Setzt man nun für n die jedem gegebenen Brechungsverhältniſſe entſprechenden Zahlen, ſo kann man hieraus die Werthe von ω und e berechnen und obige Größen finden.

250. Den äußeren Regenbogen erklärt man ſich auf ähnliche Weiſe. Es ſei ein Lichtſtrahl SA, (Fig. 362) der auf den Regentropfen fällt, deſſen Mittelpunct C iſt. Dieſer bekommt in A durch Brechung die Richtung AB, durch Reflexion in B und D die Richtung BD und DE und endlich beim Austritte durch eine abermalige Brechung die Richtung EO, und gelangt ſo ins Auge O. Beſteht

der Lichtſtrahl, wie es bei Sonnenſtrahlen der Fall iſt, aus ungleich brechbaren Theilen, ſo tritt in E ein Lichtbüſchel aus, wovon nur ein beſtimmter Theil ins Auge O gelangt. Iſt OF parallel mit AS, ſo kann man beweiſen, daß rothes Licht ins Auge kommen wird, wenn $EOF = 50° 59'$ iſt, hingegen violettes, wenn dieſer Winkel $54° 9'$ beträgt. So wie im vorigen Falle werden auch die Tropfen, welche innerhalb der genannten Grenzen liegen, den farbigen Bogen erzeugen.

Zieht man auf den Durchſchnittspunct des einfallenden und austretenden Strahles von C die Gerade CG, ſo wird $CGE = CGA = \omega$, $ACG = ECG = x$, und $CAB = CBA = CBD = BDC = CDE = r$. Man hat daher alle Winkel um C herum, nämlich

$$6R - 6r + 2x = 4R \text{ oder}$$
$$x = 3r - R, \text{ aber}$$
$$\omega = e - x \text{ und daher}$$
$$\omega = e - 3r + R.$$

Durch eine ähnliche Rechnung, wie die vorhin angeſtellte, findet man für die wirkſamen Strahlen

$$\varepsilon = 3\rho$$
$$3 \cos e = n. \cos r, \text{ woraus man mittelſt der Gleichung}$$
$$\sin e = n. \sin r \text{ erhält}$$
$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}.$$

Durch Subſtitution der für n gehörigen, numeriſchen Werthe erhält man obige Größe der Winkel.

251. Aus dieſer Theorie, (deren Richtigkeit man übrigens auch durch Verſuche mit einer gläſernen Kugel prüfen kann, indem man ſie erhöht oder erniedriget, bis man in ihr dieſe oder jene prismatiſche Farbe wahrnimmt), läßt ſich auch einſehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erſcheinen kann, daß jeder Beobachter ſeinen eigenen Regenbogen ſieht und zwar in jedem Augenblicke einen anderen, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß beſonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt ſind, nur ein Stück des gefärbten Kreiſes über dem Horizont liegt. Es wird nämlich das ſichtbare Stück des Regenbogens durch den Winkel (Fig. 360) $EOH = EOF - HOF = 42° 2' - HOF$ ausgedrückt, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man ſieht daher nur einen Regenbogen, wenn die Sonnenhöhe kleiner als $42° 2'$ iſt, und der ſicht=

bare Bogen hat ſelbſt beim Sonnenuntergange nur eine Höhe von 42° 2′. Auf hohen Bergen ſieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis ſehen, wenn das Auge 42° 2′ unter den Horizont reichte. Dieſes kann geſchehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe iſt, wie es bei Waſſerfällen oft geſchieht.

252. Außer den zwei leicht zu erklärenden Regenbogen zeigen ſich manchmal auch noch ungewöhnliche Erſcheinungen. Dahin gehören die umgekehrten Regenbogen und diejenigen, welche außer dem erſten und zweiten Hauptbogen erſcheinen. Erſtere erklärt man ſich auch unter anderen daraus, daß die Sonne ſich in einem ruhig ſtehenden Waſſer ſpiegelt, letztere kommen wahrſcheinlich von den Lichtſtrahlen, welche bei der Reflexion im zweiten Bogen die Tropfen durchdringen, auf andere Tropfen fallen und von dieſen wieder ins Auge des Beobachters gelangen. Chiminello, Mayer, Hube, Young, Schmidt geben andere Erklärungen dieſer Erſcheinungen.

253. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterſcheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blaſſer, weißlicher Schimmer, welcher die Geſtalt einer ſchief liegenden Pyramide hat, deren Baſis auf dem Horizonte ſteht, deren Spitze nach dem culminirenden Puncte des Äquators gerichtet iſt. Es erſcheint nur zur Zeit der Nachtgleichen und zwar im Herbſte vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung iſt dieſe Erſcheinung die entweder ſelbſt leuchtende oder erleuchtete Sonnenatmoſphäre, welche wegen des ſchnellen Umſchwunges der Sonne eine linſenförmige Geſtalt hat. Daß man ſie nicht immer ſieht, kommt von der ſchiefen Lage der Ecliptik gegen den Horizont und der verſchiedenen Dauer der Dämmerung. Allein es läßt ſich nach dem Geſetze der Gravitation darthun, daß ſich die Sonnenatmoſphäre nicht einmal bis zur Merkurbahn erſtreckt, mithin dieſe Erſcheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb dieſe Erſcheinung zu den noch unerklärten zählen.

Neuntes Kapitel.

Feuermeteore.

254. Die ſogenannten feurigen Lufterſcheinungen gehören zu den räthſelhafteſten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entſtehen und Weſen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypotheſen. In die Claſſe dieſer Erſcheinungen gehören die Irrlichter, Sternſchnuppen und Feuerkugeln.

255. Die Irrlichter ſind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thieriſche Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, ſich zu einem vereinigen und ſich wieder trennen. Sie ſind wahrſcheinlich gephosphortes Waſſerſtoffgas, das ſich ſucceſſiv, an verſchiedenen Puncten in verſchiedener Menge entwickelt, und ſobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlenſaurer Luft überſchritten hat, ſich entzündet. Wenn ſie auch ununterbrochen zu leuchten ſcheinen, ſo kommt dieſes doch nur davon her, daß die Luftentwickelung ununterbrochen vor ſich geht und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes erſetzt wird. Durch den Luftzug können ſolche Theilchen verſchiedene Bewegungen bekommen, ſich heben und ſenken, vertheilen und ſich wieder vereinigen.

256. Die Sternſchnuppen erſcheinen als Sterne verſchiedener Größe Nachts manchmal plötzlich, bewegen ſich mit großer, jedoch meßbarer Geſchwindigkeit fort und verlöſchen ohne eine Spur am Himmel zurückzulaſſen. Sie erſcheinen manchmal ſehr häufig, ſo daß Brandes am fünften Theile des Horizontes in einer Nacht 480 beobachtete, manchmal wieder ſehr ſparſam, und ſcheinen mit dem Gange der Witterung in Verbindung zu ſtehen. Nach Schübler ſollen die Sternſchnuppen vorzüglich bei ſtarker, poſitiver Luftelectricität zur Zeit des zweiten Maximums derſelben geſehen werden. Nach Brandes wechſelt die Höhe, in der ſie vorkommen, von 1—50 Meilen, ſie gehen meiſtens abwärts, jedoch auch manchmal horizontal fort und ſogar aufwärts. Ihre Geſchwindigkeit iſt ſo groß, daß ſie in 1 Secunde 4—8 Meilen zurücklegen. (Beobachtungen über die Sternſchnuppen von Brandes. Leipzig 1825.)

257. Von ähnlicher, nur dem Grade nach verſchiedener Natur ſcheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu ſeyn. Dieſe erſcheinen unabhängig von Jahres- und Tagszeit, von Clima und Wetter, in Geſtalt leuchtender Maſſen in einer ſo bedeutenden Höhe, daß man ſie in weit entfernten Orten zugleich ſehen kann. Sie bewegen ſich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit ſehr großer Geſchwindigkeit abwärts, verſchwinden ohne eine Spur zurückzulaſſen, oder zerſpringen mit großem Getöſe und laſſen eine ſteinartige Maſſe (Meteorſteine) in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorſteine ſind äußerlich mit einer dunklen Rinde überzogen, auf der ſich hin und wieder geaderte oder blätterige Figuren zeigen, und beſtehen aus mannigfaltigen, durch ein erdiges Cement verbundenen Subſtanzen, die ſich mit geringen Abänderungen faſt in allen Meteorſteinen gleichen. Dieſe Subſtanzen ſind Kieſelerde, Eiſen, Schwefel, Nickel, Chrom, Magneſia, Thonerde und Kalkerde, Kobalt, Mangan, Natrum, Kohlenſtoff, Salzſäure, mithin lauter Stoffe, die auf der Erde häufig vorkommen. Das Gewicht dieſer Maſſen wechſelt von einigen Lothen bis zu mehreren Centnern. Ihr ſpecifiſches Gewicht beträgt 3.5—4.28. Auch gediegenes Eiſen ſah man auf ähnliche Art herabfallen, und findet auch ſolches Eiſen in ungemeinen Maſſen in mancher Gegend, wo alles die Vermuthung unterſtützt, daß es Meteoreiſen ſey.

258. Über den Urſprung der Meteorſteine hat man gar ſehr von einander abweichende Meinungen. Einige laſſen ſie von Außen, z. B. vom Weltraume oder von den Mondvulcanen in die Erdatmoſphäre gelangen, andere betrachten ſie als ſchon vor ihrem Falle der Erde angehörig, entweder als Trabanten oder als Auswürfe der Vulcane, oder als in der Atmoſphäre zerſtreute Stoffe. — Wiewohl jede dieſer Hypotheſen ihre Schwierigkeiten hat, ſo ſcheint doch diejenige den Vorzug zu verdienen, welche die Meteorſteine in der Atmoſphäre kurz vor ihrem Falle entſtehen läßt. Denn ſie iſt unter allen die einfachſte, indem ſie der fremden Weltkörper, deren Maſſen uns ganz unbekannt ſind, zur Erklärung gar nicht bedarf, erklärt die Ähnlichkeit der Maſſe aller Meteorſteine und ihr körniges, einer zuſammengebackenen Maſſe ähnliches Ausſehen am genügendſten, ſtimmt mit Zimmermann's Erfahrung auf das Beſte, vermög welcher das Regenwaſſer ſtets Spuren von

Eiſen und Mangan enthält, und iſt dem bekannten Gange der Natur am entſprechendſten, wie folgende Betrachtung zeigt: Die Beſtandtheile der Atmoſphäre ſind in einem beſtändigen Wechſel begriffen; Sauerſtoffgas, Stickgas und kohlenſaure Luft wird ununterbrochen abſorbirt und wieder entwickelt, Waſſer verdünſtet unaufhörlich und kehrt wieder als Regen, Schnee, Hagel u. dgl. zur Erde zurück. Von den meiſten feſten und flüſſigen Körpern verflüchtigen ſich auch beſtändig feine Theile und verbreiten ſich in der Luft, ein einziger vulcaniſcher Ausbruch ſendet vielleicht eben ſo viele Maſſe in die Luft, als er an Lava und Aſche von ſich gibt, und faſt ununterbrochen ſteigen aus den Vulcanen Rauchſäulen auf, die gewiß nicht bloße Waſſerdünſte und chemiſch reine Luftarten ſind. Iſt es daher nicht wahrſcheinlich, daß dieſe Maſſen auf ähnliche Weiſe der Erde zurückgegeben werden, wie das ihr entriſſene Waſſer durch Regen und Schnee wieder zurückkommt, und iſt nicht ein Steinregen, wie man einen Meteorſteinfall zu nennen pflegt, der einfachſte Weg, dieſe Ausgleichung zu bewirken? Die größte Schwierigkeit, welche ſich dieſer Hypotheſe in den Weg ſtellt, iſt der Umſtand, daß die Bildung einer mehrere Centner ſchweren Maſſe eine ungeheure Revolution in der Luft hervorbringen müßte, wenn ſie ſich daſelbſt plötzlich bildete, beſonders da dieſes immer in den höheren Regionen geſchieht, ja man will gar nicht begreifen können, wie ſich eine ſo große Maſſe in ſo dünner Luft, wie die im Entſtehungsorte der Meteorſteine iſt, plötzlich bilden kann. Allein die in der Luft durch die Bildung eines Meteorſteines entſtehende Revolution kann doch nicht größer ſeyn, als diejenige, bei der noch größere Maſſen im ausdehnſamen Zuſtande in die Luft ſteigen, wie dieſes bei Vulcanen, ja ſelbſt bei einer einzigen Schlacht, wo mehrere tauſend Feuerſchlünde ſich plötzlich öffnen, der Fall iſt, oder beim Herabfallen von mehreren hundert Centnern Eis oder Waſſer, wie es beim Hagel und Regen geſchieht. Endlich braucht man gar nicht anzunehmen, daß ſich dieſe Maſſen auf einmal bilden, ihrer Vergrößerung bis zu dem Maße, wo ſie herabfallen, kann lange vorgearbeitet worden ſeyn, und der letzte, mit der Lichtentwickelung verbundene Proceß, iſt nur der des plötzlichen Zuſammenbackens in eine einzige Maſſe. Die Niederfälle von ſtaubartigen, gallertartigen, dem geronnenen Blute ähnlichen Subſtanzen, die ſelbſt nach Chladni von den Meteorſteinen nicht weſentlich verſchieden ſind,

ſcheint in der That auf ein ſolches Entſtehen hinzudeuten. Gegen das ſtarke Glühen dieſer Körper in der oberen, ſehr verdünnten Luft wird man nichts einwenden können, weil man aus Verſuchen weiß, daß jeder Körper in jedem Mittel, ſelbſt im leeren Raume glühend gemacht werden kann. Übrigens iſt es wohl begreiflich, daß ſelbſt wegen des ſo ſchnellen Fallens und des dabei Statt findenden Luftwiderſtandes Glühhitze erregt werden könne. Das Zerplatzen in der unteren Region läßt ſich recht wohl aus dem Widerſtande der Luft erklären, der ſo groß werden kann, daß die Luft die Stelle einer harten Unterlage vertritt, und ſo wie dieſe ein Zerſchellen bewirkt. (Fiſcher in den Abhandlungen der Berliner Geſellſchaft. 1820. 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denſelben herabgefallenen Maſſen, mit Steindrucktafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. v. Holger in Zeitſch. 7. 129, 279; 9. 323.)

Zehntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

259. Nicht alle der abgehandelten Meteore ſind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wäſſerigen Niederſchläge und zum Theile auch die Gewitter ſpielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thieriſchen Haushalt die Hauptrolle; darum beſtimmt auch der Inbegriff derſelben vorzugsweiſe den Character des Wetters, und deren Eintreten vorherzuſagen, war von jeher der Gegenſtand vielfacher Bemühungen. Deßungeachtet ſind wir ſelbſt bei dem gegenwärtigen, weit vorgerückten Zuſtande der Phyſik noch ſehr weit vom Ziele entfernt und werden es wahrſcheinlich immer bleiben, wenn man auch nicht läugnen kann, daß in neuerer Zeit auch hierin manches Wichtige geſchehen iſt. Die geringen Fortſchritte in dieſem Puncte erklären ſich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenſtandes. Findet doch der Aſtronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phänomen am Himmel vorherbeſtimmen will, viel Schwierigkeit, ſobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieſes Phänomens, wenn auch nach demſelben Geſetze zuſammenwirken, und der Meteorolog ſoll Phänomene vorherbeſtimmen, die von ſo vielen Urſachen ab-

hängen, welche ſich überdieß nicht einmal der Größe nach beſtim- men laſſen und nicht geſtatten, von der Intenſität derſelben an einem Orte auf die an einem anderen zu ſchließen. Darum begründet auch jede ſogenannte Wetterregel, ſie beruhe auch auf dem beſten theoretiſchen Fundamente, nur eine Wahrſcheinlichkeit und keine Gewißheit.

260. Alle Wetterregeln laſſen ſich füglich in zwei Claſſen bringen. In die erſte zähle ich jene, die ſich nicht blos durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben und deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgeſetzen begreiflich iſt, in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen ſprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl ſie mit der Theorie nicht im Widerſpruche ſtehen. Solche, die anerkannten Geſetzen oder ſich ſelbſt widerſprechen, ſollen billig der verdienten Vergeſſenheit überliefert werden.

261. Die ſicherſten Wetterregeln ergeben ſich 1) aus den Luftbewegungen, d. h. aus den Winden und den Oscillationen des Barometers; 2) aus der Durchſichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmoſphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesſtande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

262. Es iſt aus dem früher Abgehandelten (204, 210, 227) klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen ſehr großen Einfluß nehmen müſſen, weil ſie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Waſſergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die leicht erklärbare Thatſache, daß warme Winde ſtets von Oben, kalte aber von Unten einbrechen, und die ſeit langem bekannte, wenn auch ſchwerer erklärbare Wahrheit, daß Winde häufiger von Oſt durch Süd und Weſt nach Nord übergehen als umgekehrt und überhaupt, wenn ſie in letzterer Richtung wechſeln, nicht leicht oder nur auf kurze Zeit zurückſpringen; ſo wird man ſich den Zuſammenhang zwiſchen den Winden und den Wärme- und Waſſermeteoren leicht erklären können. Der Südwind bringt die wärmſte und zugleich feuchteſte Luft, der Nordwind die kälteſte, und da erſterer leichter eine weſtliche und nördliche, letzterer leichter eine öſtliche und ſüdliche Richtung annimmt als umgekehrt; ſo iſt klar, daß weſtliche

Winde (in der weiteſten Bedeutung), beſonders ſüdweſtliche mehr Niederſchläge bringen müſſen als öſtliche, beſonders nordöſtliche. Auf öſtliche Winde folgt in der Regel eine Temperaturerhöhung, auf weſtliche eine Temperaturverminderung. Bei öſtlichen Winden tritt die Bewölkung des Himmels und oft ſogar der Regen ſcheinbar früher ein, als der Windwechſel, weil der Oſtwind vom oberen, nicht ſogleich bemerkbaren Südwinde verdrängt wird, bei weſtlichen Winden hingegen erfolgt das Wechſeln des Windes und die Wolkenbildung beinahe gleichzeitig.

263. Das Barometer wird mit Recht als einer der zuverläſſigſten Wetterpropheten angeſehen, denn man kann faſt immer mit Sicherheit von ſtarken Veränderungen im Barometerſtande auf Änderungen im Character der Witterung ſchließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer ſchlechten, das Steigen desſelben als Vorzeichen einer günſtigen Witterung. Ungewöhnlich ſtarkes und ſchnelles Fallen des Barometers muß mit ſtarken Störungen des Gleichgewichtes verbunden ſeyn, und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorſtehenden oder ſchon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrſchenden Sturmes angeſehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus deſſen Stande abnehmen zu können, ob es nicht Zeit ſey, ſich auf einen bevorſtehenden Sturm vorzubereiten. Da feuchte und warme Luft wegen ihrer größeren ſpecifiſchen Expanſivkraft nothwendig einen geringern Druck ausübt und auch zu Hydrometeoren ſehr geneigt iſt; ſo muß wohl auch in der Regel ein Sinken des Barometers ſchlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten laſſen, jedoch wird dieſe Erwartung nicht ſelten getäuſcht, weil feuchte und warme Luft nicht immer ſo weit gebracht wird, daß ihre Dünſte ſich niederſchlagen müſſen, und auch bei eintretender Kälte die ſchon vorhandene Feuchtigkeit ausgeſchieden werden kann. Nach v. Buch unterbleiben Waſſerniederſchläge nicht, ſobald das Barometer bei irgend einem Winde unter die dieſem Winde entſprechende mittlere Höhe herabgeſunken iſt. Da auf öſtliche Winde meiſtens ſüdliche folgen und durch Abkühlung der letzteren wäſſerige Niederſchläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; ſo muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen. Auf der Weſtſeite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein weſtlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umſchlägt,

wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird; ſo muß bei ſolchen Winden während oder vor dem Regen das Barometer ſteigen.

264. Die Durchſichtigkeit und Farbe der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszuſtande des in der Luft enthaltenen Waſſers ab und daher kann man von jener auf dieſe und auf die leicht ſich daraus ergebenden Folgen ſchließen. So lange das Waſſer im vollkommen expanſiblen Zuſtande in der Luft ſchwebt, macht es dieſelbe deſto durchſichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher ſieht man die aus der großen Durchſichtigkeit der Luft ſich ergebende, ſcheinbare Nähe ferner Gegenſtände, das ſchwarze Ausſehen von Wäldern ꝛc. ꝛc. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieſer großen Durchſichtigkeit der Luft mag auch die ſtärkere erwärmende Kraft der Sonne herrühren urd darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung anſieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche ſelbſt die kleineren Sterne ſichtbar werden, hat dieſelbe Bedeutung; ein ſanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günſtigen Witterung hoffen. Das Erblaſſen des Firmamentes deutet den Anfang des Übergangs der Dünſte in kleine Tröpfchen an und iſt darum ein Vorbote wäſſeriger Niederſchläge. Es wird meiſtens durch den in den oberen Regionen ſchon eingetretenen Südwind verurſacht.

265. Schon die Alten haben das Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, beſonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man ſieht leicht ein, daß dieſes mit Grund geſchah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft und daher auch auf die damit zuſammenhängenden Phänomene ſchließen kann. Geht die Sonne, der Mond oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, ſo herrſcht eine ſtarke Strahlenbrechung und die Luft enthält viele Dünſte; dasſelbe iſt der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erſcheint. Eine verticale Nebenſonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Geſtirne, beſonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, ſo mag der übrige Himmel wie immer rein ſeyn, es iſt doch ein baldiger wäſſeriger Niederſchlag zu beſorgen, weil ſchon ein ſüdlicher (ſüdöſtlicher) Wind im Anzuge iſt. Ja ſelbſt

wenn directer Oſtwind herrſcht, ſo zeigen doch die ſchon an der Oſtſeite vorhandenen hohen Wolken an, daß der in der Regel ihn ablöſende ſüdliche Wind dieſe Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein ſolcher Sonnenaufgang nicht ſelten der Witterungsänderung um 2—3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünſte am weſtlichen Himmel, und da im mittleren Europa die weſtlichen Winde die herrſchenden ſind, die Wahrſcheinlichkeit, daß dieſes Übermaß auch bald unſeren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derſelben, Höfe um ſie, um die Sonne und den Mond müſſen, ihrer Natur nach, naſſe Witterung befürchten laſſen und zwar letzteres um ſo mehr, je größer ſie ſind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

266. Ein faſt immer ſicheres Vorzeichen der bevorſtehenden Witterung gibt die Geſtalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasſelbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geſchichtete Federwolken, beſonders am weſtlichen Himmel, drohen mit anhaltendem ſanften Landregen. Wenn Haufenwolken früh entſtehen, bis Mittag ſich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert ſchönes Wetter fort; ſobald ſie aber der Nachmittag nicht mehr zu überwältigen vermag und der nächtliche Himmel noch mehrere derſelben antrifft, gehen ſie in die geſchichtete Haufenwolke über und bringen Regen. Die iſolirt am Himmel ſchwebende Haufenwolke iſt überhaupt ein günſtiges Wetterzeichen, weil ſie das Übergewicht der von der Erde aufſteigenden, warmen Luftſtröme über den Einfluß der Winde beweiſet; darum ſind ſolche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken laſſen wenig befürchten, wenn ſie am öſtlichen Himmel ſchweben, deſto mehr aber, wenn ſie an der Weſtſeite ſtehen, weil ſie im erſten Falle bei dem entſchiedenen Übergewichte der weſtlichen Winde von uns hinweg-, im zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum iſt auch ein Regenbogen am Abende (öſtliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein ſchlechtes Vorzeichen. Tief ſchwebende Wolken ſind entweder ſehr dicht und daher ihrer Zerſetzung ſehr nahe oder ſetzen eine größere Feuchtigkeit der Luft voraus; ſie ſind daher immer von übler Vorbedeutung, beſonders wenn ſie ſich in der Richtung befinden, von woher die herrſchenden Winde blaſen. Darum befürchtet man ſchlechtes Wetter,

wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erſcheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines beſſeren, als bis ſich die Berge an der Regenſeite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewiſſe Berge, wie z. B. der Zopten in Schleſien, die nordweſtliche Gebirgskette um Wien als Wetteranzeiger. Das Waſſerziehen der Sonne ſetzt ſehr tief ſchwebende feine Wolken voraus und iſt darum ein Regenzeichen.

267. Ungewöhnlich große Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft in den unteren Regionen läßt auf naſſe oder trockene Witterung für die Zukunft ſchließen. Darum ſind Hygrometerbeobachtungen ſelbſt in dieſer Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunct des Schwefelätherhygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispuncte liegt, hat man ſelbſt bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu beſorgen, weil die Erkältung ohne Nebelbildung oder Wind nicht unter dieſen Punct ſinkt und bei eintretendem Nebel oder Wind faſt nie ein Reif ſich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit ſchließen läßt, verkündet naſſe Witterung. Darum iſt das Rauchen der Wälder, das Niederſchlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beſchlagen der Mauern und Steine, das Nachlaſſen ſteifer Papiere, das Zerfließen der Salze, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter muſikaliſcher Inſtrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken ꝛc., oft von übler Vorbedeutung.

268. Plötzliche Änderung in der Stärke und im Zeichen der Luftelectricität führt in der Regel eine Änderung im Character der Witterung mit ſich. Das Verſchwinden der Luftelectricität deutet auf bevorſtehenden Wind, nicht ſelten auf wäſſerige Niederſchläge.

269. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen ſo großen Werth ſetzt und die ſogar zum Sprichworte geworden ſind, bezieht ſich auf den Zuſammenhang der Meteore und ihre periodiſche Wiederkehr, und es wird dabei ſtets von der Witterung der Gegenwart auf die der Zukunft geſchloſſen. Viele dieſer Regeln ſtehen unter ſich im Widerſpruche, andere ſetzen einen Zuſammenhang zwiſchen Dingen voraus, die von einander unabhängig ſind, andere haben allerdings Grund und ſind allein einer näheren Erwähnung werth. — Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß ſteht der Winter mit dem Frühlinge mittelſt eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbſte mittelſt eines Nachſommers in Verbindung. Weder der Nachſommer

noch der Nachwinter tritt immer zur ſelben Zeit ein, unterbleibt aber in der Regel nicht. Man ſieht es als ein günſtiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter ſchnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März ſo hoch anſetzt (Märzſtaub iſt goldeswerth), ſchöne Witterung im Februar ungern ſieht, ꝛc. ꝛc. Im ſüdlichen Deutſchland äußern die tropiſchen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Waſſerniederſchläge. Wenn dieſe eintreten, ſo beginnen ſie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieſer Zeit für ein Vorzeichen eines dauernden naſſen Wetters. Ein naſſer Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbſt, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter dieſen Umſtänden während des Frühlings und Sommers oder während des Herbſtes im Südſtrome befinden und daher bei einem Wechſel in den Nordſtrom kommen. Morgenregen gelten faſt allgemein als ſchnell vorübergehend, weil die faſt immer herrſchenden Weſtwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angeſehen, weil ſie durch die nächtliche Kühle noch mehr verſtärkt werden. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, ſo bleibt der Südwind herrſchend und wir haben eine Wiederholung eines Waſſerniederſchlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter beinahe immer ein zweites, wenn nicht auf das erſte eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viel Luftfeuchtigkeit ſchließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues iſt ein Zeichen von herrſchenden Winden oder von zu dichten Wolken und deutet auf baldigen Regen.

270. Mehrere fleißige Beobachter wollen auch einen Zuſammenhang zwiſchen der Witterung und dem Mondesſtande beobachtet haben, ohne daß man im Stande iſt, den Grund dieſes Zuſammenhanges nachzuweiſen. Darum bleiben aber auch die daraus ſich ergebenden Wetterregeln von geringerem Werthe, als jene, deren Grund uns vor Augen liegt. Nach Toaldo (*Essai météorologique. Chambery*. 1784) hat der Mond den meiſten Einfluß auf die Witterung und ändert ſie am öfteſten, wenn er ſich in der Erdnähe befindet; ſeine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Äquinoctien, die Luniſtitien.

Nach Toaldo verhält ſich die Wahrſcheinlichkeit, daß ſich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6:1, beim Neumonde nahe wie 6:1, beim Vollmonde wie 5:1, bei der Erdferne wie 4:1, bei den Vierteln nahe wie 2:1, bei den Äquinoctien wie 2:1. (*Essai météorologique p.* 131.) Nach Schübler verhält ſich die Wirkſamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000:823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000:588. (Über den Einfluß des Mondes auf die Änderungen der Atm. Leipzig v. Schübler. 1830. Kaſt. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161.)

270. Daß viele Thiere die bevorſtehende Witterung durch ihr Benehmen anzeigen, iſt bekannt. Es erklärt ſich dieſes zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieſer ſtets im Freien lebenden Weſen, theils aus dem Umſtande, daß ſie ihre Nahrung bei bevorſtehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen ſehr niedrig, weil ſie in der Nähe des Bodens die Mücken, welche ſtets die trockenſte und wärmſte Luft ſuchen und ihnen zur Nahrung dienen, am leichteſten antreffen; Fiſche tauchen aus demſelben Grunde öfter auf und haſchen die über dem Waſſer ſchwebenden Inſecten; Möven ſammeln ſich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fiſche habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meiſtens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil dieſe Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen und ſich erwarten läßt, dieſe werde ſich auch bald ſenken und die untere Luft erwärmen. Eben ſo ſieht man das Wegziehen derſelben als Zeichen der bevorſtehenden Wärmeabnahme an, weil die an den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alſogleich verlaſſen, ſobald kalte Luft herrſchend wird und durch ihr Ziehen in ſüdlichere Gegenden auch die daſelbſt wohnenden ans Fortziehen erinnern ꝛc. ꝛc.

271. Oft geſchieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengeſetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel ſetzen, welchem von ihnen er mehr trauen ſoll. In einem ſolchen Falle läßt ſich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieſer Zeichen über die anderen von entſchiedenem Übergewichte iſt; allein ſelbſt im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrſcheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrſcheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der phyſiſchen Aſtronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805. Syſtematiſcher Grundriß der Atmoſphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813. Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. 2. Abtheilung. Heidelberg 1820. Deſſelben Handbuch der Naturlehre.

2. Thl. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kaſtner. Erlangen 1823. *Meteorological essays and observations by I. Daniell. London* 1828. Kämtz Meteorologie. Halle 1831. Bis jetzt nur 1. Bd. erſchienen.)

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS.

Nachtrag.

Zur Electricitätslehre. Kap. 5, B. (S. 585).

Nach den neueſten, von Faraday zuerſt angeſtellten Unterſuchungen bringt ein electriſcher Strom, der neben einem mit der Electricitätsquelle gar nicht in Verbindung ſtehenden Leiter vorbeigeht, in demſelben einen anderen ſecundären Strom hervor, welcher nur momentan iſt und eine dem urſprünglichen entgegengeſetzte Richtung hat. Entfernt man den Drath vom Strome, ſo tritt in demſelben ein neuer, wieder nur momentaner, aber dem vorigen, ſecundären, entgegegeſetzter, daher mit dem urſprünglichen nach derſelben Richtung fließender Strom ein. Die Stelle des urſprünglichen electriſchen Stromes kann auch ein kräftiger Magnet vertreten. Bringt man einen durch Seidenüberzug iſolirten, ſpiralförmig gewundenen Metalldrath, deſſen Enden mit einem empfindlichen Multiplicator in Verbindung ſtehen, in die Nähe des Magnetes, ſo bemerkt man im Augenblicke der Annäherung eine Ablenkung der Magnetnadel; iſt dieſelbe in ihre urſprüngliche Gleichgewichtslage zurückgekehrt, ſo erfolgt wieder eine der vorigen gleiche, aber der Richtung nach entgegengeſetzte Ablenkung, ſobald man den Magnet von der Spirale entfernt. Vorzüglich gut gelingt dieſer Verſuch, wenn man ein weiches, dickes Stück Eiſen, das für einen Hufeiſenmagnet als Trageiſen dienen kann, in der Mitte mehrere Male mit überſponnenem Drathe umwickelt, deſſen Enden mit den Dräthen des Multiplicators communiciren, das Eiſenſtück den Endflächen des Magnetes bis zur Berührung nähert, und dann wieder davon losreißt. Faraday, Nobili und Antinori; (deren letztere dieſe Verſuche auf die bloße allgemeine Anzeige von der Entdeckung ſolcher Phänomene mit Erfolg wiederholten) haben durch den ſecundären Strom, er mochte durch einen andern Strom oder durch einen Magnet erregt worden ſeyn, ſogar Funken hervorgebracht und Froſchſchenkel in heftige Zuckungen verſetzt. Es iſt mit Grund zu vermuthen, daß man auch chemiſche Wirkungen durch Magnete hervorbringen wird. Ein durch ſeine Lage für den Erdmagnetismus empfänglich gemachter und von demſelben magnetiſirter Eiſenſtab wirkt wie ein gewöhnlicher Magnet. — Dieſe Thatſachen ſind von unüberſehbarer Wichtigkeit. Sie geben der Ampère'ſchen Hypotheſe (S. 596) ein großes Übergewicht über die Anſichten, welche andere Phyſiker in Betreff des Electromagnetismus aufgeſtellt haben, machen viele bis jetzt in das geheimnißvollſte Dunkel gehüllte Einwirkungen der Magnete begreiflich, und ſchließen die Electricität untrennbar an den Magnetismus an. Nach Faraday ſind ſelbſt die Phänomene des ſogenannten Rotationsmagnetismus (S. 522) eine natürliche Folge der Einwirkung electriſcher Ströme auf einander. (Sopra la forza ellettromotrice del Magnetismo del Sig. L. Nobili e V. Antinori. Antol. di Fiorenze. Nov. 1831.)

Regiſter.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

Abdrehen 104.
Abend (Weſt) 617.
Abendröthe 800.
Aberration 641.
Abfall 704.
Abplattung, ſ. Erde.
Abſidenlinie 634.
Abſorbtion der Gaſe 162, des Lichtes 352, iſt eine Wärmequelle 468, Abſ. der Wärme 430.
Abſtoßung bei Flüſſigkeiten größer als die Anziehung 111, der Wärme 448, electriſche 530, magnetiſche 431.
Abweichung, optiſche, wegen der Kugelgeſtalt 323, chromatiſche 327, magnetiſche 493, Änderungen 498, und eigentliche Störungen 499, aſtronomiſche 620.
Abweichungskreis 327.
Accord, ſ. Ton.
Achromatismus 329, achrom. Prisma, 330, achrom. Linſen 320, 331.
Adhäſion, ſ. Anziehung, Haarröhrchen.
Aequator, magnetiſcher 493, magn. Erdäquator 499, aſtronom. 620, Erdäquator 625.
Aequatorhöhe 621.
Aequinoctie 620.
Aequivalente, chem., ſ. Atomengewichte.
Aërodynamik, ſ. Bewegung.
Aëroſtatik, ſ. Gleichgewicht.
Aether 59. 287.
Affinität, ſ. Verwandtſchaft.
Aggregationszuſtand 26, Änderungen desſelben 451, bringen *E* hervor 554, ſ. Wärme.
Akuſtik 235.
Alkalien 55, alkaliniſche Erden 55.
Alkohol 59, ſchützt vor Fäulniß 60, gibt verdünnt ein homogenes Farbenbild 316.
Amalgam, Kienmayer'ſches 524, ſ. Metalle.
Ammoniak 55, ſchützt vor Fäulniß 60.
Analyſe des Lichtes 303.
Anamorphoſen, katoptriſche 302.
Anemometer 764.
Anwandlung, zur leichtern Reflexion oder Transmiſſion 346.
Anziehung 7, allgemeine 663, chemiſche 29, feſter Körper auf flüſſige 111, zwiſchen flüſſigen 112, magnetiſche 518, electriſche 530.
Aplanatiſche Linſen, ſ. Linſen.
Apogäum 634.
Aräometer 123, mit Scalen 123, mit Gewichten 124.
Are 11.
Armatur einer Leidnerflaſche 538, des Magnetes 511.
Aſtronomie 616.

Atmometer 777.
Atmoſphäre, terreſtriſche, Höhe derſelben 740, Veränderungen ihrer Beſtandtheile 741, Strömungen 764, Oſcillationen 770, electriſche 535, Erſcheinungen derſelben 536, der anderen Planeten, ſ. dieſelben.
Atmoſphäriſche Luft, ſ. Luft.
Atomiſt 13.
Atom 23.
Atomengewicht 36.
Atwood, Fallmaſchine 185.
Aufgeſchwemmtes Land 716, 717.
Aufſteigung, gerade 622.
Auge, Bau 394, Veränderlichkeit 395.
Ausdehnbarkeit 15.
Ausdehnſame Körper, ſ. Gas.
Ausdehnſamkeit der Gaſe 139, iſt beſtändig 140, wächſt mit dem Drucke 140, durch Wärme 142, abſolute und ſpecifiſche 149, der Dünſte 170, ſ. Dichte.
Ausdehnung 11, feſter Körper durch die Wärme, lineare 448, kubiſche 449, Anwendung 450, flüſſiger Körper 451, des Waſſers insbeſondere 452.
Ausflußgeſchwindigkeit, ſ. Geſchwindigkeit.
Ausflußmenge des Waſſers, berechnete 217, beobachtete 218, 219, aus einer Seitenwand 219.
Auslader 565.
Axe, freie 200, der Schwingungspuncte 191, Kryſtallaxen 91, optiſche, der doppelten Brechung 361, 365, der Welt 619, der Erde 625.
Azimuth 620.
Azimuthalkreis 620.
Azot, ſ. Stickſtoff.

B.

Bahn der Planeten 646, der Sonne 632, des Mondes 649.
Barometer 136, Differenzialbarometer 145, Correction wegen der Wärme 139, dient zu Höhenmeſſungen 698, zu Wetteranzeigen 772, periodiſche Veränderungen ſeines Standes 816, phyſiſche, dynamiſche Fluth und Ebbe 773, unregelmäßige Schwankungen und deren Urſachen 774.
Barometerprobe, ſ. Luftpumpe.
Baſen 54, Verſchiedenheit derſelben 55.
Bathometer 691.
Batterie, electriſche 538.
Becherapparat, ſ. Säule.
Beobachten 4.
Berg, ſ. Gebirg.
Bergſturz 728.
Berührung, Quelle der E 542.
Beugung der Wellen 229, des Lichtes 335, Erſcheinungen im durchgelaſſenen weißen 336, im homogenen Lichte 337, an einem Drahte 337, durch mehrere Öffnungen 338, bei wenigen Strahlen 339, wenn viele gebeugte Strahlen auf einander wirken 339, im reflectirten Lichte 340, neue Phänomene von Herſchel 341, Erklärung 341.
Beweglichkeit 14.
Bewegung, abſolute, relative 178, gleichförmige 179, beſchleunigte 182, verzögerte 184, durch momentane und continuirlich wirkende Kräfte zuſammen 194, der Flüſſigkeiten 214, ausdehnſamer Körper 232, ſcheinbare 350, Zuſammenſetzung und Zerlegung

181, Hinderniſſe 208, dadurch bewirkte Modificationen 211, der Wärme, tägliche, jährliche, ſ. Wärme, Himmelskörper, Sonne, Erde.
Bild, Lage und Größe desſelben, bei Linſen 326, 327, im Auge 395, Größe 398, Entfernung 399, Lage 400, Bewegung 401, Farbe 401.
Birnprobe, ſ. Luftpumpe.
Blasbalg 160.
Blasinſtrumente, ſ. Pfeifen.
Bläue der Luft, 799, ihre Bedeutung 817.
Blitz 793.
Blitzableiter 794.
Blitzröhren 793.
Bodendruck 114.
Bor 47.
Braunkohle 721.
Brechbarkeit des Lichtes 311, iſt für jeden farbigen Strahl eine andere 312.
Brechung, gewöhnliche, des Lichtes 304, Geſetze derſelben 305, Erklärung 309, in ſphäriſchen Linſen 321, doppelte 360, Geſetze derſelben im Doppelſpathe 361, in anderen Kryſtallen 364, in gepreßtem Glaſe 366, theoretiſche Erklärung 390, 393, der Wärme 430.
Brechungsexponent 305.
Brechungsvermögen 308.
Breite, aſtronom. 622, geogr. 625.
Breitenkreis 622.
Brenngläſer, Brennlinie, Brennpunct, Brennweite, Brennſpiegel, ſ. Linſen.
Brennſtoff, ſ. Verbrennen.
Brillen, cylindriſche, iſochromatiſche, periſkopiſche, Sattelbrillen 397.
Brom 45.

C.

Calorimeter 442, 484.
Camera clara, lucida, ſ. Kammer.
Capacität, ſ. ſpecifiſche Wärme.
Caſſegrain's Fernrohr 421.
Centralbewegung 196, Geſetze derſelben 196, werden von den Planeten befolgt 646.
Centralfeuer 763.
Centralkräfte, Centripetalkraft, ſ. Centralbewegung.
Centrum, ſ. Mittelpunct.
Ceres 659.
Chamſin 670.
Chemie 28.
Chladniſche Figuren, ſ. Klangfiguren.
Chlor 44.
Chromatiſche Tonleiter, ſ. Tonleiter.
Coercitivkraft, magnetiſche 493, Verſchiedenheit derſelben 519.
Cohäſion, Theorie derſelben 87.
Collectivgläſer, ſ. Linſen.
Colurnen 633.
Combinationston, ſ. Ton, ſubjectiver.
Comma 250.
Communicationsgefäße 114, 115.
Communicationsrohr 254.
Compenſationen am Pendel, ſ. Pendel.
Compreſſionspumpe 147.
Concavlinſen, ſ. Linſen.
Condenſator 540.
Conductor 534.
Conjunction 642, obere, untere 645.
Conſtellation 668.
Contact, ſ. Berührung.
Continent 674, Flächenraum, Form 674, ſein Inneres 711.

Converſpiegel, Converlinſen, ſ. Spiegel, Linſen.
Copernicus Weltſyſtem 647.
Crownglas, ſ. Glas.
Culmination 620.
Cyanometer 800.

D.

Dampf, ſ. Dunſt.
Dampfmaſchinen 463, mit einfacher, doppelter Wirkung 463, niederem, hohem Druck 464, Expanſionsmaſchinen 464, Erfindung und Verbeſſerung 465, Berechnung der Wirkung 466, Bedarf an Brennmateriale 467.
Daniell's Pyrometer 21, Hygrometer 172.
Declination, ſ. Abweichung.
Declinatorium 495.
Deflagrator 545.
Dehnbarkeit, ihre Größe und ihr Maß 100.
Deſtilliren 462.
Detonation, electriſche 573.
Deutlichkeit 294, ſ. Abweichung, Mikroſkope, Fernröhre.
Diagometer 609.
Diaphragma 411, 421.
Dichte 24, iſt blos relativ 24, verſchiedene einer tropfbaren Flüſſigkeit 126, Beſtimmung derſelben 120, 123, der Gaſe 150, der Dünſte 170, Tafel der Dichte 125, 153, der Planeten 667.
Dienung 696.
Differenzialthermometer, ſ. Thermometer.
Digeſtor, papiniſcher 458.
Döbereiners' Eudiometer 42, Hygrometer 173.
Donner 793.
Doppelſpath, ſ. doppelte Brechung.
Doppelſterne 671.
Doppel-Brechung, ſ. Brechung.
Drachenmonat, ſ. Mondmonat.
Drehwage, magnetiſche 514, electriſche 556.
Druck einer Flüſſigkeit auf den Boden 114, auf die Seitenwände 116, auf eingetauchte Körper 117, der Luft 136, ſein Einfluß auf das Ausſtrömen des Waſſers 221, der Luft 234, iſt Quelle der *E* 550.
Dünen, ſ. Küſten.
Dünſte 26, Expanſivkraft derſelben 166, ſpecifiſche 169, in der Luft 168, Quelle der Wärme 472, Verhalten derſelben in der Atmoſphäre, 777, machen die Luft durchſichtiger 799, ſind gute Leiter der *E* 528, praktiſche Anwendung 462, Urſachen, die ſie in tropfbaren Zuſtand überführen 779.
Durchgang der Blätter, ſ. Kryſtallform.
Durchkreuzung, ſ. Interferenz.
Durchſichtigkeit 293, der Luft 799, wovon ſie abhängt 353, 800.
Dynamik 178.
Dynamiſten 13.

E.

Ebbe und Flut 693, Erklärung 694, in der Atmoſphäre 772.
Ebene, ſchiefe 83.
Echo 245.
Einheit der Ausdehnung 11, des Gewichtes 24, der abſoluten, der ſpecifiſchen Wärme 441.
Ekliptik 620, 632.
Elaſticität 99, vollkommene, unvollkommene 99, Größe und Mo-

dulus derſelben 99, Verhältniß der Dehnung zur Kraft 99 und 100.
Electricität 527, Glas-, Harz-, poſitive, negative 429, galvaniſche oder voltaiſche 542, Luftelectricität 790, Quellen der *E* 531, Mittheilung 528, Vertheilung 542, Erregung durch Reibung 532, durch Berührung 542, durch andere Mittel 550, Quellen der *E* in der Atmoſphäre 791, Verhalten der Körper hinſichtlich der Fortpflanzung der *E* 528, theoret. Erklärung der *E* 531, *E* im Gleichgew. 556, blos an der Oberfläche angehäuft 559, *E* in Bewegung 564, Dauer des Stromes 565, Wirkungen desſelben 567, nämlich Stoß 567, Zuckungen 569, Licht- 571, Wärme- 573, mechaniſche 576, chemiſche Phänomene 577, magnetiſche Wirkungen der *E* und zwar auf einen Magnet 585, auf weiches Eiſen 589, auf einen beweglichen Polardraht 591, auf einen andern Polardraht 592, dadurch erzeugte rotirende Bewegung 593, hypothetiſche Anſicht 596, Intenſität u. Richtung 597, wird durch Ablenkungswinkel eines Magnets gemeſſen 598, wovon ſie abhängt 599.
Electriſiren, ſ. Electricität, Quellen derſelben.
Electriſirmaſchine 534.
Electromagnetismus, ſ. *E* magnetiſche Wirkungen.
Electrometeore 790.
Electrometer, ſ. Electroſkop.
Electrophor 539.
Electroſkop 527 von Bennet, Korkkugel Elect. von Volta, Henley 530, 531. Bohnenberger, Becquerel 549.
Eliasfeuer 791.
Elemente, chemiſche, ſ. Körper einfache.
Emanationshypotheſe 286, Gründe gegen ſelbe 289, ihre Erklärung der geradlinigen 291 und gleichförmigen Fortpflanzung 293, der Reflexion 303, der einfachen 310, der doppelten Brechung 390, der Farbenzerſtreuung 320, hat für Interferenz 334, für die newton'ſchen Farbenringe 346, die Abſorption 354, die Polariſation, keine Erklärung 390, die Erſcheinungen der Beugung 342 und daß durch Interferenz aufgehobene Strahlen keine chemiſche Wirkung mehr äußern 289, ſind ihr geradezu entgegen.
Emiſſionsvermögen für die Wärme 430, hängt von der Oberfläche 431, von der Neigung der ausfahrenden Wärmeſtrahlen gegen die Oberfläche ab 432.
Endosme 132.
Entfernung, ſcheinbare 399, der Fixſterne, der Sonne, der Planeten, ſ. dieſe.
Epicykel 643.
Erdaxe, ſ. Axe.
Erdbeben 733.
Erde, ihr Magnetismus 493, ihre Wirkung auf einen Polardraht 591, tägliche 623, jährliche Bewegung 632, Ergebniſſe aus beiden Bewegungen 635, Abplattung 629, ſteht zwiſchen Venus und Mars 646, Dichte derſelben 674, ihre Hauptgebirge 707, Wüſten 705, Meere 689, Veränderungen, die ſie

erleidet 726, durch Feuer 729, durch Waſſer 727, Luft 727, Kunſtfleiß 727.
Erden 55.
Erdfall 728.
Erdgürtel, ſ. Zone.
Erdtrombe 797.
Erfahrungsnaturlehre 3, 8.
Ergänzungstheilchen, ſ. Kryſtallform.
Erkaltung 439, ihre Geſetze 437, Quelle der E 552.
Erſcheinungen (Phänomene) 4.
Erſchütterung, electr., durch eine Maſchine oder Flaſche 567, eine Volta'ſche Säule 568, an den Cruralnerven des Froſches vorzüglich bemerkbar 569, veranlaßte Entdeckung der Berührungselectr. 569.
Erwärmung, Quelle der E 552.
Eſſiggährung, ſ. Gährung.
Eudiometer 42.
Exosme, ſ. Endosme.
Expanſionsmaſchine, ſ. Dampfmaſchine.
Expanſivkraft, ſ. Ausdehnſamkeit.
Experimentiren 5.

F.

Fall, freier 184, über die ſchiefe Ebene 185.
Farben, objective 314, complementäre 314, dünner Körper 343, Verſuche hierüber im weißen 344, im homogenen Lichte 345, Erklärung 346, ſubjective oder phyſiologiſche 402.
Farbenbild aus heterogenem 312, aus homogenem Lichte 315, 316.
Farbenringe, electriſche 582, ſ. Farben dünner Körper, Licht, polariſirtes.
Farbenzerſtreuung 317, Zuſammenhang mit der Brechung 317 Erklärung 320.
Färbung der Bilder 327.
Fäulniß 60.
Federwolke, ſ. Wolken.
Fernröhre 415, dioptriſche 415, katoptriſche 420, Objective 415, Oculare 416, Eigenſchaften 421 Prüfung 422.
Feſte Körper, ſ. Körper.
Feſtigkeit 101, der Metalle 102, Hölzer und Stricke 103.
Feuchtigkeitsgrad 171.
Feuer, ſ. Flamme, Verbrennen.
Feuerkugeln 812.
Feuermeteore 811.
Feuerſpritze 161.
Figur, Figurabilität 11, magnetiſche 506, Lichtenberg'ſche 530.
Finſterniß 294.
Firmament 799, Farbe desſelben 799.
Fiſche, electriſche 568.
Fläche, cauſtiſche 299.
Flamme 480, Form 480, Farbe 481, Leuchtvermögen 482, Hitzegrad derſelben 484, ſ. Verbrennen.
Fliehkraft 199.
Flintglas, ſ. Glas.
Flötenwerkpfeifen, ſ. Pfeifen.
Flötzgebirge 712.
Fluor 47.
Flüſſe 681, Lage ihrer Quellen und ihre Krümmungen 681, Gefälle 681, Waſſerfälle 682, Breite ihres Bettes 682, Waſſermenge 683, Geſchwindigkeit 684, Geſtalt der Oberfläche 685, Farbe und Reinheit 685.
Flüſſigkeit 26, nie vollkommen 40, Maß derſelben 111, ihre Zuſammendrückbarkeit 109, magnetiſche, electriſche, ſ. Magnetismus, Electricität.

Fluth, ſ. Ebbe.
Folgepuncte 505.
Fraunhofer'ſche Linien, ſ. Farbenbild, homogenes.
Frühlingsbrunnen 677.
Funke, ſ. Flamme, Licht, electriſches.
Funkeln der Sterne 801.

G.

Gährung, weinige 59, Eſſig= 60, faule Gährung 60.
Galvani, Entdecker der galvaniſchen *E* 569.
Galvanometer, ſ. Multiplicator.
Gänge 723, ihr Urſprung 724.
Gangmutter 724.
Gaſe 26, können tropfbar dargeſtellt werden 27, werden abſorbirt 162, Mittel, ſie von Flüſſigkeiten zu befreien 163, ihr Gleichgewicht 135, Bewegung 232, Ausdehnſamkeit 135.
Gaſometer 159.
Gebirge 711, plutoniſche, neptuniſche 722, Ur=, Übergang=, Flötzgebirge, aufgeſchwemmtes Land 712, obere, übermittlere, mittlere, untermittlere 712, Trachyt=, Baſalt= und Lavagebirge 720, ihr Entſtehen 735, ihr relatives Alter 736.
Gebirgsknoten 698.
Gefäßbarometer, ſ. Barometer.
Gefüge, ſ. Kryſtalliſation.
Generator, ſ. Dampfmaſchine.
Geographie, phyſiſche 673.
Geſchwindigkeit, Ausflußgeſchwindigkeit des Waſſers 216, in Röhrenleitungen 220, der Gaſe 232, in Röhren 233, des Schalles 241, des Lichtes 292, der ſtrahlenden Wärme 429, der geleiteten Wärme 435.
Geſichtsfeld, ſ. Fernröhre, Mikroſkope.
Geſichtswinkel, ſ. Größe, ſcheinbare.
Gewicht 24, abſolutes 24, ſpecifiſches 25, Art es auszudrücken 25, iſt die Reſultirende der Schwerkräfte 74, Beſtimmung desſelben bei Waſſer und anderen Flüſſigkeiten 120, bei feſten Körpern 122, bei Gaſen 150.
Gewitter 791, Urſache 792, Erſcheinungen 793.
Gleichgewicht 62, ſtabiles, labiles 76, der Kräfte an Maſchinen 77, der Kräfte an feſten Körpern 71, der Theile feſter Körper unter einander 87, ſchwerer unzuſammendrückbarer, nicht adhärirender Flüſſigkeiten 113, ſchwerer, zuſammendrückbarer, adhärirender Flüſſigkeiten 126, feſter Körper in Flüſſigkeiten 117, Flüſſigkeiten unter einander 118, der Gaſe unter einander 153, der freien und abſorbirten unter einander 162, der Dünſte 165, der Wärme 440, bewegliches der Wärme 431, der magnetiſchen Kräfte 510, der Electricität 556.
Glühlampe 478.
Golphſtrom 696.
Goniometer 298.
Gramme 24.
Gravitation 663.
Größe, ſcheinbare 398.
Grundſtoff, ſ. Körper, einfache.
Grundton 246.

H.

Haarröhrchen 129, Theorie der Erſcheinungen in denſelben 130, Erklärung mehrerer Erſcheinungen 132.

Hagel 795.
Hagelableiter 797.
Halbleiter, ſ. Leiter.
Halbſchatten, ſ. Schatten.
Harmattan 770.
Harmonica, chemiſche 257.
Harmonie, ſ. Ton.
Haufenwolke, ſ. Wolken.
Hauptſchnitt 364.
Hebel 78.
Heber, anatomiſcher 115, Stech= 159, gekrümmter 159, Stoß= heber 221.
Heberbarometer, ſ. Barometer.
Helioſtat 297.
St. Helena 791.
Heliotrop 298.
Heronsball, Heronsbrunn 160.
Heß's Waſſermaſchine 201.
Himmelskörper 617, ſcheinbare täg= liche 618.
Hinderniß, ſ. Bewegung.
Höfe 803, Erklärung, 804.
Höhe, aſtronomiſche 622, terreſtri= ſche, wird vorzüglich durch den Barometerſtand beſtimmt 698.
Höhenkreis 622.
Höhenrauch 784.
Höhlen, werden oft aus Pendelſch. vermuthet 725, ſind in Kalkſtein häufig, auch in Baſalt 725, 726.
Hohlſpiegel, ſ. Spiegel.
Holzmann's Metallthermometer 450.
Horizont 616.
Hören 279.
Hörrohr 254.
Hungerquellen, ſ. Quellen.
Hydrat, ſ. Waſſer.
Hydrogen, ſ. Waſſerſtoff.
Hydroſtatik, ſ. Gleichgew. der Flüſ= ſigkeiten.
Hydrothionſäure, ſ. Schwefelwaſ= ſerſtoff.
Hygrometer 171, von Herapath 172, Dalton, Daniell 172, Körner 173, Döbereiner 173, Leslie 173, Auguſt 173, Sauſ= ſure's Haarhygrometer 174, Beſtimmung der Luftfeuchtig= keit mit demſelben 175, De= luc's Fiſchbeinhygrometer 177.
Hypotheſe 5, 6.

J.

Jahr, tropiſches 637, ſideriſches 640, anomaliſtiſches 641, pla= toniſches 640.
Jahrszeiten 638, in der heißen 744, gemäßigten 745, kalten Zone 746.
Imponderabilien 10.
Inclinatorium 496.
Indifferenzpuncte, mag. 504, ver= ſchiedene Lage desſelben 517, electriſche 536, 561.
Inductionszirkel, ſ. Römerzinszahl.
Inflexioſkop 335.
Inſtrumente, optiſche 405.
Interferenz der Wellen 227, des Schalles 253, des Lichtes 331, Verſuche darüber 332, Geſetze 333, Erklärung 334.
Intervalle 246.
Joch 698, Breite 702, Richtung 703, Höhe desſelben 704.
Jod 45.
Irrlichter 811.
Iſobarometriſche 771, iſogoniſche 497, iſokliniſche 499, iſodyna= miſche 501, iſothermiſche, iſo= theriſche, iſochimeniſche Linien 752.
Iſoliren, Iſolatoren, ſ. Leiter, Leit= fähigkeit.
Julianiſche Zeitrechnung 637.

Juno 659.
Jupiter 659.

K.

Kaleidophon 266.
Kaleidoſkop 298.
Kammer, optiſche, dunkle, helle 423, lichte 424.
Karten, geographiſche 627.
Kaſten, optiſcher 423.
Keil 85.
Kepler's Geſetz und Bahnen der Himmelskörper 199, 646.
Kerngeſtalten 94.
Kernſchatten, ſ. Schatten.
Kette, electriſche einfache 543, zuſammengeſetzte 544, geſchloſſene 565.
Kieſel 47.
Klang, ſ. Ton.
Klangfiguren 270, Bewegungen derſelben 272, bei mittönenden Körpern 276.
Klarheit 294.
Klima 741, hängt von geogr. Breite 744 und von andern Umſtänden ab 752, im Allgemeinen betrachtet 759.
Knoten, aufſteigender, abſteigender 647.
Kohle 47, Verbindungen mit Waſſerſtoff 48.
Kometen 654, Bewegung 654, Natur und Zahl 655.
Körper 3, organiſche, unorganiſche 4, haben allgemeine, weſentliche 10, zufällige Eigenſchaften 13, ſind Aggregate 15, es gibt feſte, tropfbare, ausdehnſame Körper 26, gemengte, gemiſchte, zuſammengeſetzte, einfache 37, ſpröde, zerreibliche, harte, weiche, ſtreckbare, elaſtiſche 99 u. 100, leuchtende, beleuchtete 289, durchſichtige, undurchſichtige 293.
Kraft 7, Zuſammenſetzung, Zerlegung, ſtatiſche Größe 63, dynamiſche Größe 179, an einer Maſchine 77, Mittelpunct der Kräfte 69, Moment einer Kraft 70.
Kräftenparallelogramm, ſ. Reſultirende.
Kryophorus 462.
Kryſtall 88, Erzeugung derſelben 88, Erleichterung der Kryſtalliſation 89, Kryſtallform 91, Kryſtallaxen 91, einfache Kryſtallgeſtalten 92, Kryſtallſyſtem 93, Ableitung der Kryſtalle 93, Eigenthümlichkeiten der kryſtalliſirten Stoffe 95, innerer Bau der Kryſtalle 94, Zuſammenhang der Theilungsgeſtalt mit der Natur des Stoffes 96, doppeltbrechende 364, einaxige 365, zweiaxige 366.
Kryſtallform, wovon ſie abhängt 96.
Küſte 689, Strand, Düne 690.

L.

Ladungsſäule, ſ. Säule.
Lampenmikroſkop, ſ. Mikroſkop.
Landhöhen 703.
Landkarten, ſ. Karten.
Landrücken, ſ. Landhöhen.
Länge, aſtronomiſche 622, geographiſche 626, Beſtimmung und Taglänge 639.
Längenſchwingungen der Luft 256, der Saiten 264, der Stäbe 267.
Laſt, ſ. Kraft an Maſchinen.
Lawinen 728.
Lebensthätigkeit, widerſteht den

chem. Kräften 30, iſt Quelle der Wärme 474, der Electricität 555.
Legierungen, ſ. Metalle.
Leidnerflaſche 538.
Leiter, ſ. Leitfähigkeit.
Leitfähigkeit für Wärme, äußere 429, innere 434, für Electricität 528, Beſtimmung derſelben 608, Reſultate 609.
Libelle, ſ. Waſſerwage.
Licht, allgemeine Betrachtungen 285, Hypotheſen über ſeine Natur 286, wirkt in einer geraden Linie 290, wovon ſeine Stärke und ſeine Beleuchtungsfähigkeit abhängt 349, wird von den Körpern reflectirt, gebrochen, gebeugt, abſorbirt 290, ſ. Brechung, Beugung, Reflexion, Interferenz, Polariſation, erwärmende Kraft 468, für heterogene Strahlen ungleich groß 469, chemiſche Kraft 285, der heterogenen Strahlen 470, magnetiſche Kraft der blauen und grünen Strahlen 504, wirkt ſcheinbar dynamiſch auf magn. Schwingungen 523, electriſches 527, Farbe und Intenſität 571, Fortpflanzung 572, polariſirtes, entzieht ſich oft der Brechung und Reflexion 369, der Interferenz 376, Benutzung dieſer Eigenſchaft 382, ſeine Natur 374, Wirkung der Hinterflächen auf den Polariſationszuſtand 375, Farbenerſcheinung im ſelben 376, in auf der optiſchen Axe ſenkrechten Plättchen 378, in erhitztem und gepreßtem Glaſe 384, in ſchnell erkaltetem 385.
Lichtmagnete 290.
Lichtmeteore 799.
Lichtſauger, ſ. Lichtmagnete.
Lichtſtärke, ſ. Licht.
Lichtſtrahl 291.
Lichtwelle 287.
Linſen 321, Sammellinſen 324, Zerſtreuungslinſen 325, achromatiſche 329.
Liter 11.
Llanos 706.
Luft, atmoſphäriſche, Beſtandtheile 43, 741, Dichte 151, Gleichgewicht 153, Brechvermögen 319.
Luftballon 157.
Luftdruck, ſ. Barometer.
Luftelectricität 790.
Luftpumpe 146, ihr Gebrauch 146, Proben über die Güte derſelben durch die Birn- oder Barometerprobe 148, Rechnung 149, Verſuche mit derſelben 149.
Luftſpiegelung 802.
Luftſtrömungen, ſ. Winde.
Luftthermometer, ſ. Thermometer.

M.

Magdeburger Halbkugel 149.
Magnet, natürlicher, künſtlicher 490, wirkt in die Entfernung aber nicht an allen Stellen gleich 491, Verhalten gegen einen andern Magnet 491, Verhalten eines unmagnetiſchen ruhigen Körpers gegen einen beweglichen Magnet 491, einer rotirenden Kupferſcheibe 522, Kräfte, die im letztern Falle thätig ſind 523, auf einen oscillirenden Magnet wirken alle Körper 522, ſcheinbar auch das Sonnenlicht 523, Erklärung 525, Intenſität eines Magnetes 510, iſt nicht der Größe proportionirt

und hängt nicht von der Geſtalt ab 511, wird durch Oxydation, Ausglühen, Erſchütterung, Temperaturerhöhung vermindert, 512, an verſchiedenen Puncten desſelben Magnetes 514.

Magnetiſiren 504, durch Stoßen, Feilen, Drehen, Glühen 504, durch Sonnenlicht 505, durch den einfachen 505, den Doppelſtrich, den Kreisſtrich 506, durch ſucceſſive Verſtärkung, mittelſt eines magnetiſchen Magazins 507, ſo daß ein Transverſalmagnet entſteht 506.

Magnetismus, magnetiſche Kraft 490, im Gleichgewicht 510, wächſt verkehrt, wie das Quadrat der Entfernung 518, Wirkung der Wärme darauf 512, in Bewegung 522, Erklärung, 525, 822, Magnetismus der Erde 493, Richtung desſelben 494, Stärke an verſchiedenen Orten 500, iſt beim Nordlichte thätig 798.

Magnetnadel 509, aſtatiſche 509.

Mahlſtrom 697.

Manometer 145, Guerike's 157.

Mariotte'ſches Geſetz 143, Grenzen desſelben 141.

Mars 659.

Maſchinen 77, einfache 78, zuſammengeſetzte 86.

Maſſe 14.

Maß, franzöſiſches 11, des Gewichtes 24.

Materie 3, magnetiſche 491, electriſche 531.

Mechaniker, ſiehe Kraft, Bewegung.

Meer, Meerboden, Meerbuſen, Meerwaſſer, ſ. Weltmeer.

Megaſkop 414.

Melodie, ſ. Ton.

Meridian, magnetiſcher 493, aſtronomiſcher oder terreſtriſcher 621, erſter 626.

Merkur 658.

Meter 11.

Metalle 48, reguliniſche, verlarvte, vererzte, ſtreckbare, ſpröde 48, ihr Verhalten im Schmelzen 49, edle und unedle, ihre Verbindungen mit Sauerſtoff, unter einander 49.

Meteorognoſie, ſ. Wetterregeln.

Meteorologie 739.

Meteorſteine 812, Hypotheſen über ihr Entſtehen 813.

Mikrometer 413.

Mikroſkope, dioptriſche 406, einfache 406, Eigenſchaften 407, zuſammengeſetzte 408, Bau ihrer Objectiv- 409, ihrer Ocularlinſe 410, Verbindung zwiſchen beiden 411, Eigenſchaften 411, catoptriſche 413, Sonnen-, Lampenmikroſkope 414.

Milchſtraße 670.

Mineralwaſſer, ſ. Waſſer.

Miſchung 29.

Miſchungsverhältniſſe 32.

Mittagsebene, ſ. Meridian.

Mittönen 275.

Molecularkraft 87, 105, 111, 113, 135, Wirkung auf eine Maſſe mit beſtimmter Oberfläche 128.

Moment einer Kraft 70.

Mond, Bewegung 649, ab-, zunehmender Neu-, Vollmond 650, Oberfläche, Berge, Thäler 661, Atmoſphäre, Axendrehung, Entfernung, Flächenraum 662, Länge ſeines Tages und wie den Mondbewohnern die Erde erſcheint 662.

Mondfinſterniß 651.

Mondmonat 650.

Mondzirkel 653.

Mongolfier, Erfinder des Luftballons 157.
Monochord 246.
Moraſt, ſ. Sumpf.
Morgen, ſ. Oſt.
Morgenröthe 801.
Moſkeſtrom, ſ. Mahlſtrom.
Mouſſons, ſ. Wechſelwinde.
Multiplicator von Schweigger, Nobili, Marianini 587.

N.

Nachſommer, Nachwinter 751.
Nachtgleichen, ſ. Äquinoctien.
Nadir 619.
Natur, Naturlehre 3, ihr Nutzen 8, 9.
Naturgeſetz 8.
Nebel 784.
Nebelflecken 670.
Nebenplaneten 617, 649.
Nebenſonnen, Nebenmonde 804, Erklärung 805.
Neigung, magnetiſche 499.
Neumond, ſ. Mond.
Neutraliſation 31.
Neutraliſirende Platte 521.
Newman'ſches Knallgebläſe 484.
Nonius 12.
Nord 617.
Nordlicht 797, iſt wahrſcheinlich electriſcher Natur 798.
Nutation 640.

O.

Oaſen 706.
Oberfläche der Flüſſigkeiten 108, Einfluß derſelben auf die einwärts ziehende Kraft 128.
Objective, Oculare, ſ. Mikroſkope, Fernröhre.
Oefen, chemiſche 36.
Oehlbildendes Gas, ſ. Kohle.
Ohr, des Menſchen 279, der Thiere 280.
Ombrometer 787.
Oppoſition 642.
Optik, ſ. Licht, Inſtrumente, optiſche, Orgelpfeifen, ſ. Pfeifen.
Ort, geocentriſcher, heliocentriſcher 644.
Oſt 617.

P.

Pallas (Planet) 659.
Parallaxe 630, Höhen-Horizontalparallaxe 631, dient zur Beſtimmung der Entfernung u. Größe der Geſtirne 631.
Parallelkreiſe, aſtronomiſche 619, terreſtriſche 625.
Paſſageinſtrument 621.
Paſſatwind, ſ. Wind.
Paß 704.
Pendel 188, Kraft, Geſchw. 189, Zeit einer Schwingung 189, einfaches 188, zuſammengeſetztes 191, Reverſionspendel 191, magnetiſches 496, electriſches 556, dient als Zeitmeſſer 191, Compenſationen 192, beweiſet die Geſetze der Schwere 193.
Perigäum 634.
Perturbationen 666.
Pfeifen, Flötenwerk 257, Höhe d. Töne in denſelben 258, in Zungenpfeifen 261, Eigenthümlichkeiten aller Pfeifen 262.
Phantasmagorie, ſiehe Zauberlaterne.
Phlogiſton 485.

Phosphor 46, Verbindungen mit Waſſerſtoff 46.
Phosphorescenz 290, des Meeres 692.
Phosphorſäure 54.
Photometer 355, Gebrauch desſelben 356.
Photometrie 348.
Planeten 617, jährliche Bewegung 642, untere, obere 642, ſtationäre, rechtläufige, rückläufige 643, bewegen ſich um die Sonne 644, nach den Kepler'ſchen Geſetzen 646, Entfernung von der Sonne, Umlaufszeit, Geſchwindigkeit 648, Urſache ihrer Bewegung 663, Maſſe, Dichte 667.
Plateau, ſ. Landhöhen.
Polardrähte 565, erlangen ſelbſt zerſetzende Kraft 583, ihre Wirkung auf Magnete 585, auf einander 592, auf andere Drähte 822.
Polariſation des Schalles 278, des Lichtes 367, vollkommene, unvollkommene 372, entgegengeſetzte 373, circulare 388, elliptiſche 386, bewegliche 380, Erklärung nach der Vibrationshyp. 391.
Polariſationsinſtrument 369.
Polariſirtes Licht, ſ. Licht.
Polarität, ſ. Pole.
Polarkreiſe 633.
Polarſtern 619.
Pole eines Magnetes phyſiſche 491, mathematiſche 495, magnetiſche der Erde 502, electriſche an einer Säule 563, Oxygen-, Hydrogenpol 577, der Himmelskugel oder aſtronomiſche 619, der Erde 625.
Polhöhe 211, iſt der geogr. Breite gleich 625.
Poroſität 14.
Präceſſion 640.
Preſſe von Bramah 108, von Real 115.
Probeſcheibe 557.
Procentenaräometer, ſ. Aräometer.
Projectionsarten 627.
Ptolemäus Weltſyſtem 647.
Pumpe, Druckpumpe, Saugpumpe 160, Compreſſionspumpe 147.
Pyrometer, von Wedgewood 20 Fehler desſelben 21, Guyton Morveau 21, von Daniell, Mill, Prinſep 21, zur Beſtimmung der linearen Ausdehnung durch Wärme 448.
Pyrophor 476.
Pyroſkop 434.

Q.

Quadratur 642.
Quellen 675, Urſachen ihres Entſtehens 675, Hungerquellen und andere periodiſch fließende 677, wetterlaunige 678, warme 679 Mineralquellen 679.
Queckſilberthermometer, ſ. Thermometer.
Querſchwingungen 256, der Saiten 263, der Stäbe 265.

R.

Raum, leerer, iſt ein Leiter der ſtrahlenden Wärme 429, der Electricität 560, ſchädlicher 147.
Rauminhalt 14.
Rectaſcenſion, ſ. Aufſteigung, gerade.
Reflectoren, ſ. Fernröhre, catoptriſche.

Reflexion der Wellen 228, des Schalles 244, des Lichtes 295, an Spiegeln 297, theor. Anſicht derſelben 302, doppelte 364, totale 306, der Wärme 430, der E 601.
Reflexionsgoniometer 298.
Reflexionsvermögen 432.
Reflexionswinkel, ſ. Reflexion.
Refractoren, ſ. Fernröhre, dioptriſche.
Regen 785, Regenmenge 786, Regenwaſſer 788.
Regenbogen 806, Entſtehung des innern 807, des äußern 808, Folgerungen aus der Theorie 809, umgekehrte, dritte Regenbögen 810.
Regengallen, ſ. Regenbogen.
Regenwaſſer, ſ. Ombrometer.
Reibung, abſolute, relative 208, Verſuche darüber 209, Geſetze 210, Mittel gegen dieſelbe 211, Nutzen 211, iſt die Quelle der Wärme 471, d. Electricität 532.
Reibungsexponent 209.
Reibungsmeſſer 208.
Reibzeug 534.
Reif 781.
Reſonanz 278.
Reſultirende 63, Richtung u. Größe bei Kräften, die auf einen Punct in derſelben Richtung 63, unter einem Winkel wirken 64, die auf verſchiedene unveränderlich mit einander verknüpfte Puncte wirken 68.
Rolle 82.
Römerzinszahl 653.
Rohrwerkpfeifen, ſ. Pfeifen.
Roſtpendel, ſ. Pendel.
Rückſchlag 795.

S.

Saite, ſ. Längen-, Querſchwingungen.
Salze 56.
Salzſäure 53.
Sammellinſen, ſ. Linſen.
Samum 710.
Sättigung 31, eines Magnetes 512.
Sättigungsvermögen, ſ. Atomengewicht.
Saturn 659.
Sauerſtoff, Sauerſtoffgas 39.
Saugpumpe, ſ. Pumpe.
Säule, Volta'ſche 543, wovon ihre Stärke abhängt 545, Erklärung 546, trockene Säule 548, zweielementige 549, ſecundäre oder Ladungsſäule 564.
Säuren 50, ihre Beſtandtheile 51, Benennung 51, Characteriſtik einiger Säuren 52.
Schall 235, Schallmittel 237, Art der Fortpflanzung 238, Character 237, Richtung 281, Geſchwindigkeit in der Luft 241, 242, in andern Körpern 242, nach theoret. Rechnungen 243, Stärke desſelben 251, 281, ſ. Schallwelle, Ton.
Schallſtrahl 241.
Schallwelle 239, Theile, Länge derſelben 240, Durchkreuzung 241, Reflexion 244.
Schaltjahr 637.
Schatten 294, gefärbte 403.
Scheidung, chemiſche 33, bringt E hervor 554.
Schichtwolken, ſ. Wolken.
Schiefe der Ecliptik 633, Einfluß auf das Klima 638, die Länge des Tages 639, iſt veränderlich 640.

Schiefe Ebene, ſ. Fall.
Schmelzen 455, durch *E* 574.
Schnee 788.
Schneegrenze 756.
Schnellwage, ſ. Wage.
Schraube 84.
Schwefel 45.
Schwefelſäure, ſchwefelige Säure 53, Schwefelwaſſerſtoffſäure 54.
Schwere 23, Theorie derſelben 72, der Luft 135, wird durch Schwingungen dargethan 193.
Schwerkraft 23, 72.
Schwerpunct 71, Beſtimmung desſelben 75.
Schwimmen, natürliches 117, 119, 120, künſtliches des Menſchen 119.
Schwingungen des Waſſers, fortſchreitende 224, ſtehende 230, in ſelbſttönenden Körpern 255, der Luft 256, im Stimmorgane 262, der Saiten 263, der Membranen 265, der Stäbe 265, der Platten 269, in mittönenden Körpern 275, Entſtehen 276, Richtung der letztern 277, der Pendel, ſ. Pendel.
Schwingungsknoten 230, 255.
Schwingungspuncte 191.
Schwungkraft 199.
Schwungmaſchine 201.
See 686, Entſtehen 686, Vertheilung derſelben auf der Erde 687, Größe und Geſtalt 688, Tiefe, Reinheit 688.
Seegeſicht, ſ. Luftſpiegelung.
Seekarten, ſ. Karten.
Segner's Rad 116.
Sehen, was zum deutlichen Sehen gehört 397, ſ. Auge.
Sehweite 396.
Seilmaſchine 85, Vera'ſche 112.
Selen 46.
Sicherheitslampe 480.
Sicherheitspanzer 481.
Sicherheitsrohr 159.
Sieden 457, wovon die Siedhitze abhängt 457.
Sirene, von Cagniard-Latour 236.
Sirocco 770.
Solſtizien 633.
Sonne, ſcheinbare Bewegung 632, hat Flecken 656, Maſſe, Dichte Fallraum 667.
Sonnenfackel 657.
Sonnenfinſterniß 652.
Sonnenmikroſkop, ſ. Mikroſkop.
Sonnentag, mittlerer, wahrer 636.
Sonnenzirkel 638.
Sonntagsbuchſtabe 637.
Spannkraft, ſ. Ausdehnſamkeit.
Spannung, electriſche 556, wird durch Größe der anziehenden oder abſtoßenden Kraft gemeſſen 556, iſt dieſen Kräften proportionirt 557, Abnahme durch unvollkommene Iſolirung 558, ſ. Electricität im Gleichgewichte.
Spectrum, ſ. Farbenbild.
Spiegel 296, ebene 297, ſphäriſche hohle 298, erhabene 301, cylindriſche, coniſche 302, parallele, Winkelſpiegel 298.
Sprachrohr 254.
Springbrunn, ſ. Heronsbrunn, Communicationsgefäße.
Stabilität, ſ. Gleichgew., ſtabiles.
Statik, ſ. Gleichgewicht.
Stechheber, ſ. Heber.
Steifheit der Stricke 212.
Steinkohlen 721, 718, ſind organiſchen Urſprungs 622.
Steppen 707.
Sterne, Fixſterne 617, Circumpolarſterne 619, Nebelſterne 670, Doppelſterne 671, veränderliche Sterne 671.
Sternbild, ſ. Conſtellation.
Sternſchnuppen 811.

Sterntag 636.
Stickſtoff und Stickgas 40.
Stimmorgan. 261.
Stoffe, indifferente 57.
Stoß, gerader, centraler, unelaſtiſcher Körper 202, elaſtiſcher Körper 204, ſchiefer 206, excentriſcher 207, des Waſſers 221, der Luft 235, iſt die Quelle der Wärme 471, electriſcher 567, ſ. Erſchütterung, electriſche.
Stoßheber 221.
Stoßmaſchine 205.
Strahlenbrechung, aſtronomiſche, terreſtriſche 802.
Strand, ſ. Küſte.
Strom, ſ. Fluß, electriſcher, ſ. *E* in Bewegung.
Stromſtrich 684.
Subjectiver Ton, ſ. Ton.
Süd 617, Südpunct 620.
Südlicht 798.
Sumpf 688.
Symbole, chemiſche 58.

T.

Tafeln der Atomengewichte 38, der Dichte 125, 153, der Spannkraft der Dünſte 168, der Tonwerthe 249, der Brechvermögen 319, der Länge der Lichtwellen 342, der Helligkeit des Mondes und der Planeten 356, Verhältniſſe der Objective zu den Vergrößerungen bei Fraunhofers Fernröhren 422, der Capacitäten 447, der Ausdehnung durch Wärme 450, Änderung der Waſſerdichte durch Wärme 453, der Sied- und Schmelzpuncte einiger Körper 459, erkältender Miſchungen 471, magnetiſcher Neigungen 500, der electriſchen Zerſetzungen 578, der Electromotoren 543, 599, 605, der Thermoelectromotoren 607, der electriſchen Leiter 610, 611, der Tageslänge an verſchiedenen Orten 639, der Elemente des Sonnenſyſtems 648, der Trabanten 651, der Maſſe, Dichte und des Fallraums auf Planeten 667, der Stromgebiete 686, des Salzgehaltes im Meere 692, hypſometriſche 701, der Formationsfolgen im Innern der Erde 713, der Wärmeabnahme nach Oben 747, der Schneegrenze 757, der Vegetationsgrenzen 758, der Wärmevertheilung u. mittleren Lufttemperatur 760, der Bodenwärme 762, der mittleren Windesrichtungen 769, der Barometerveränderungen 771, 773, der Barometerſtände bei verſchiedenen Winden 776, der Verdünſtungsgröße 778, der Regenmenge 789.
Taucherglocke 13.
Täuſchungen, optiſche 403.
Teleſkope, ſ. Fernröhre.
Temperatur der Erdoberfläche 761, jährlicher, täglicher Gang derſelben 744, mittlere des Tages 748, des Jahres 649, der obern Luftſchichten 747, des Innern der Erde 763.
Temperiren der Tonleiter 250.
Terrellen 508.
Thau 780, Urſache ſeines Entſtehens 780, wird zu Reif 781.
Thaumatrop 404.
Theilbarkeit 22.
Theodolith 622.
Thermomagnetismus, ſ. electriſch magn. Wirkung, ſ. Wärme.
Thermometer, Queckſilbertherm.

16, Vorſichten beim Bau deſſelben 18, allmälige Verſchlechterung 19, Weingeiſt- 19, Luft- 143, deſſen Vorzüge 144, Übereinſtimmung mit dem Queckſilbertherm. 145, Differential- 428, Metalltherm. von Brequet und Holzmann 450.
Theuerbrunnen, ſ. Hungerquellen.
Thierkreis 642.
Töne 237, Folge, Bezeichnung derſelben 246, Schwingungszahlen 247, große, kleine, halbe 448, ſubjective 281.
Tonleiter 248, vollſtändige 249, chromatiſche 249.
Tonverhältniß 246.
Toricelliſche Leere, Röhre 136.
Trabanten, ſ. Nebenplaneten.
Transverſalmagnet 506, 596.
Transverſalſchwingung, ſ. Querſchwingungen.
Trägheit 14.
Trennung der Theile, iſt Quelle der *E* 552.
Tribometer, ſ. Reibungsmeſſer.
Trogapparat, ſ. Säule.
Tropfbare Körper, ſ. Körper.
Tycho de Brahe's Weltſyſtem 647.

U.

Uebergangsgebirge 713.
Ueberſchwemmungen, allgemeine, 737.
Ueberwucht 213.
Unterſtützungspunct, ſ. Hebel.
Uranus 659.
Urgebirge 712. 719.

V.

Vegetation, Quelle der Wärme 475, der *E* 555, ſteht mit Klima in engem Verbande 757.
Venus 657.
Verbindung, chemiſche, 20, bringt *E*. hervor 554.
Verbrennen 476, hiezu ſind ſtets zwei Körper, ein beſtimmter Wärmegrad 476, oder Berührung mit gewiſſen poröſen Stoffen erforderlich 477, manche Körper glühen, manche brennen mit einer Flamme 480.
Verdünſtung 460, Grenzen derſelben 460, Beförderungsmittel 461, dabei entſteht ſtets Erkältung 461, jährliche für beſtimmte Breiten 716.
Vergrößerung der Mikroſkope 406. 412, der Fernröhre 417. 418.
Vernier, ſ. Nonius.
Verwandtſchaft, einfache, 29, Hinderniſſe derſelben 30, disponirende 31, einfache und doppelte Wahlverwandtſchaft 33.
Veſta 659.
Vibrationshypotheſe 286, Vertheidigung derſelben 288, Erklärung der geradlinigen und gleichförmigen Bewegung 290, der Reflexion 302, der gewöhnlichen Brechung 309, der Interferenz 334, der Beugung 342, der Farbenringe 317, der Durchſichtigkeit 354, der doppelten Brechung 391, erklärt jedoch nicht die Farbenzerſtreuung 320.
Vollmond, ſ. Mond.
Volumen, ſ. Rauminhalt.
Vorgebirg 705.
Vorrücken der Nachtgleichen, ſ. Präceſſion.
Vulcane 720, Central-, Reihenvulcane 720, Erſcheinungen 729, ihr Herd 731, wahrſcheinliche Urſachen 732.

W.

Wage 79, Theorie derſelben 80, Schnellwage 81, hydroſtat. 122.
Wahlverwandtſchaft, ſ. Verwandtſchaft.
Wanne, pneumatiſche 37.
Wärme, ſtrahlende, 427, pflanzt ſich geradlinig mit ungeheurer Geſchwindigkeit 429 fort, wird gebrochen, reflectirt 430, die innere Fortpflanzung wird durch Aggregationszuſtand modificirt 435; Geſetze, nach denen ſie ſich richtet 427, 440, ihre Wirkungen 447, ihre Quellen 468, Verbindung mit Licht 475, ſpecifiſche 440, wird durch Miſchungs- 441, Abkühlungsmethode und durch Calorimeter 442, durch das bekannte Atomengewicht gefunden 443, freie, latente Wärme 455, dehnt die Körper aus 447, ändert den Aggregationszuſtand 454, wird beim Schmelzen und Verdünſten gebunden 455, 459, 461, afficirt das Gemeingefühl 426, ſchwächt die magnetiſche Kraft 513, theor. Erklärung durch Annahme eines Wärmeſtoffes 486, andere Vermuthung 488.
Wärmeſtoff 427, man erklärt aus ihm die Wärmephänomene 486, Einwürfe dagegen 487.
Waſſer reines 40, ſpecif. Gewicht 121, Ausdehnung durch die Wärme 453, hartes, weiches iſt mit andern Stoffen gemengt 680, hat Einfluß auf das Klima 753, Wirkungen desſelben auf der Erde 727 ſchwebt fein zertheilt in der Luft 779.
Waſſerfälle 682.
Waſſerhoſen 797.
Waſſermenge, ſ. Flüſſe.
Waſſermeteore 777, ſtehen mit Winden im Zuſammenhange 785.
Waſſerſäulenmaſchine 115.
Waſſerſtoff 30.
Waſſerwage 118.
Waſſerziehen 739.
Wechſelwind, ſ. Wind.
Wein, Weingeiſt, ſ. Alkohol.
Weingährung, ſ. Alkohol.
Weingeiſtthermometer, ſ. Thermometer.
Weiße eines Körpers 359, Beſtimmung derſelben 357. 360.
Welle des Waſſers 222, Entſtehen 223, Fortſchreiten 224, Geſchwindigkeit 224, Bewegung der kleinſten Theile, die eben die Welle bildet 225, Durchkreuzung 227, Reflexion 228, Beugung der Wellen auf dem Meere 697.
Wellenberg, ſ. Welle.
Wellenrinne 225.
Wellenſchlag, ſ. Welle.
Wellenthal, ſ. Welle.
Wellrad 82.
Weltaxe, ſ. Axe.
Weltmeer 689, Küſten 689, Beſchaffenheit ſeines Bodens 690, Tiefe 690, Farbe 691, Leuchten desſelben 692, chem. Analyſe 692, Grund ſeiner Salzigkeit 693, eigenthümliche Bewegungen 693.
Wendekreiſe 633.
Weſt 617.
Wetterregeln 814.
Widerſtand des Mittels 211.
Wiederhall, ſ. Echo.
Wind 764, Richtung, Stärke 765,

Paſſat= 765, Wechſel= 767, Land= und Seewind 767, unregelmäßige 768, ihre mittlere Richtung 768, beſondere Eigenſchaften 769, ihre Beziehung zum Wetter 769.
Windbüchſe 161.
Winkelſpiegel, ſ. Spiegel.
Wirbel, ſ. Beugung.
Witterung 739.
Wolken 781, Farbe, Größe, Bewegung 782, Geſtalt der Feder= 783, federigen Haufen=, federigen Schicht= 783, Schicht= 784, Haufen= 885, Regenwolken 785, Beziehung auf das Wetter. 817.
Wolkenbruch 786.
Woulf'ſche Flaſche, Apparat 36.
Wurf, auf= oder abwärts 194, horizontal 154, unter einem Winkel 195.
Wüſten 705, Urſachen des Mangels aller Vegetation 706.

Z.

Zahl, ſtöchiometriſche 35, goldene 653.
Zauberlaterne 424.
Zeichenſprache, chemiſche 58.
Zeit, wahre mittlere Sonnen= Sternzeit 636.
Zeitgleichung 636.
Zeitrechnung, julianiſche, gregorianiſche 637.
Zenith 619.
Zerbrechen, zerdrehen, zerdrücken, zerreißen 104. 104. 103. 101.
Zerlegung, Zuſammenſetzung der Kräfte, der Bewegungen, ſ. Kraft, Bewegung.
Zerſetzung, chem., ſ. Scheidung.
Zerſtreuung des Lichtes 295, Stärke derſelben 350.
Zerſtreuungslinſen, ſ. Linſen.
Zerſtreuungsverhältniß 318.
Zerſtreuungsvermögen 318.
Zodiakallicht 810.
Zone, heiße, gemäßigte, kalte 744.
Zündkörper, ſ. Verbrennen.
Zungenpfeifen, ſ. Pfeifen.
Zuſammendrückbarkeit der Körper überhaupt 18, der Flüſſigkeiten 109. Folgerungen desſelben 126, der Gaſe 140.

Verbeſſerungen.

Seite	Zeile		Statt	ſoll es heißen:
54	6	von oben	waſſerhelle	waſſerfreie
58	14	von unten	5 Atom	1 Atom
74	22	von oben	verkehrten	geraden
121	6	von unten	160	159
184	5	von oben	*ts*	*t*
200	15	„	$\frac{MR}{f^2}$	$\frac{MR}{T^2}$
235	oberſte Columne		Luftſtoff	Luftſtoß.
260	18	von oben	Kolbens	Knotens.
264	10	„	*A, E, C, H, h, B*	*A, E, C, h, B.*
335	6	von unten	den beugenden Draht	die Öffnung am Fenſter
370	7	von oben	ſind	iſt
375	15	von unten	Fig. 123	Fig. 223.
395	1	von oben	eine	keine
484	7	von oben	an eine	in eine
514	20	„	Fig. 279	Fig. 279*
515	13	„	vermehrt	ändert
522	3	von unten	denſelben	dieſelben
541	16	„	geſetzt	zerſetzt
543	10	„	noch weniger	beſonders
560	11	„	$\frac{ad}{ac}$	$\frac{ad}{bc}$
584	2	von oben	ſie	ihre Kraft
622	14	von unten	$BH - AH = BH$	$BH - AH = AB$

Bei J. G. Heubner,

Buchhändler in Wien am Bauernmarkt Nr. 590,

ſind folgende Werke um beigeſetzte Preiſe in Conventions-Münze zu erhalten.

Aleman, W. v., Elemente der entwerfenden Geometrie, nebſt einem Anhange von der Beſtimmung der Schattenriſſe. Mit 13 lithographirten Tafeln, gr. 8. 1825. 2 fl. 15 kr.

Baumgartner, Dr. A., Aräometrie, oder Anleitung zur Beſtimmung des ſpezifiſchen Gewichtes, und zur Verfertigung genauer Aräometer für Chemiſten und Technologen. Mit 1 Kupf. gr. 8. 1820. 1 fl. 8 kr.

— — die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zuſtande mit Rückſicht auf mathematiſche Begründung. Supplementband; den mathematiſchen und experimentellen Theil betreffend. Mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. 7 fl.

— — die Mechanik in ihrer Anwendung auf Künſte und Gewerbe gemeinverſtändlich dargeſtellt. Mit 8 Kupf. gr. 8. 1823. 3 fl.

— — und A. von Ettinghausen, Zeitschrift für Physik und Mathematik, I. und II. Band, jeder aus 4 Heften bestehend, mit 8 Kupfertafeln. gr. 8. 1826 und 1827. Jeder Band 4 fl. 30 kr.

Blank, J. C., Tafeln der Logarithmen der Zahlen, Sinus und Tangenten. gr. 8. 48 kr.

Littrow, J. J., populäre Aſtronomie. 2 Theile mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. 1825. 8 fl. 30 kr.

— — Elemente der Algebra und Geometrie. gr. 8. 1827. 3 fl.

— — Beiſpielſammlung zu den Elementen der Algebra und Geometrie. gr. 8. 1829. 1 fl. 15 kr.

— — Calendariographie, oder Anleitung, alle Arten Kalender zu verfaſſen. gr. 8. 1828. 4 fl. 30 kr.

— — Vorleſungen über die Aſtronomie. 2 Thle. gr. 8. 5 fl.

Pilgram, A., Unterſuchungen über das Wahrſcheinliche der Wetterkunde, durch vieljährige Beobachtungen, 2 Thle. gr. 4. 1781. 4 fl. 30 kr.

Prechtl (J. J.), praktiſche Dioptrik, als vollſtändige und gemeinfaßliche Anleitung zur Verfertigung achromatiſcher Fernröhre. Nach den neueſten Verbeſſerungen und Hülfsmitteln, und eigenen Erfahrungen. Mit 4 Kupfertafeln. gr. 8. 1828. 2 fl. 40 kr.

Scholz, Dr. B., Anfangsgründe der Phyſik, als Vorbereitung zum Studium der Chemie. Vierte umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 5 Kupfertafeln. gr. 8. 1832. 5 fl. 30 kr.

Schulz von Straszniki, L. C., das geradlinige Dreieck und die dreiseitige Pyramide, nach allen Analogien dargestellt. Ein Beitrag zur analyt. Geometrie. gr. 8. 1827. 1 fl. 30 kr.

— — Elemente der Mathematik. 1. Theil. gr. 8. 1831. 2 fl. 15 kr.

Winkler, G., Lehrbuch der Rechenkunſt und Algebra. Zweyte umgearbeitete Auflage. gr. 8. 1825. 2 fl. 15 kr.

Deſſen theoretiſche Geometrie und Trigonometrie. Zweite gänzlich umgearbeitete Auflage. gr. 8. 1824. 2 fl. 40 kr.

Deſſen practiſche Meßkunſt, angewandt auf die Vermeſſung ganzer Gegenden überhaupt, und der Wälder insbeſondere: das Höhenmeſſen und Nivelliren ꝛc. Zweite, vermehrte und umgearbeitete Auflage, mit 20 neugeſtochenen Kupf. gr. 8. 1829. 5 fl. 20 kr.

Deſſen Lehrbuch der angewandten Mathematik, enthaltend die Anfangsgründe der Mechanik, Hydroſtatik und Hydraulik. Mit 1 Kupf. und 5 lithographirten Tafeln. gr. 8. 1821. 2 fl. 30 kr.

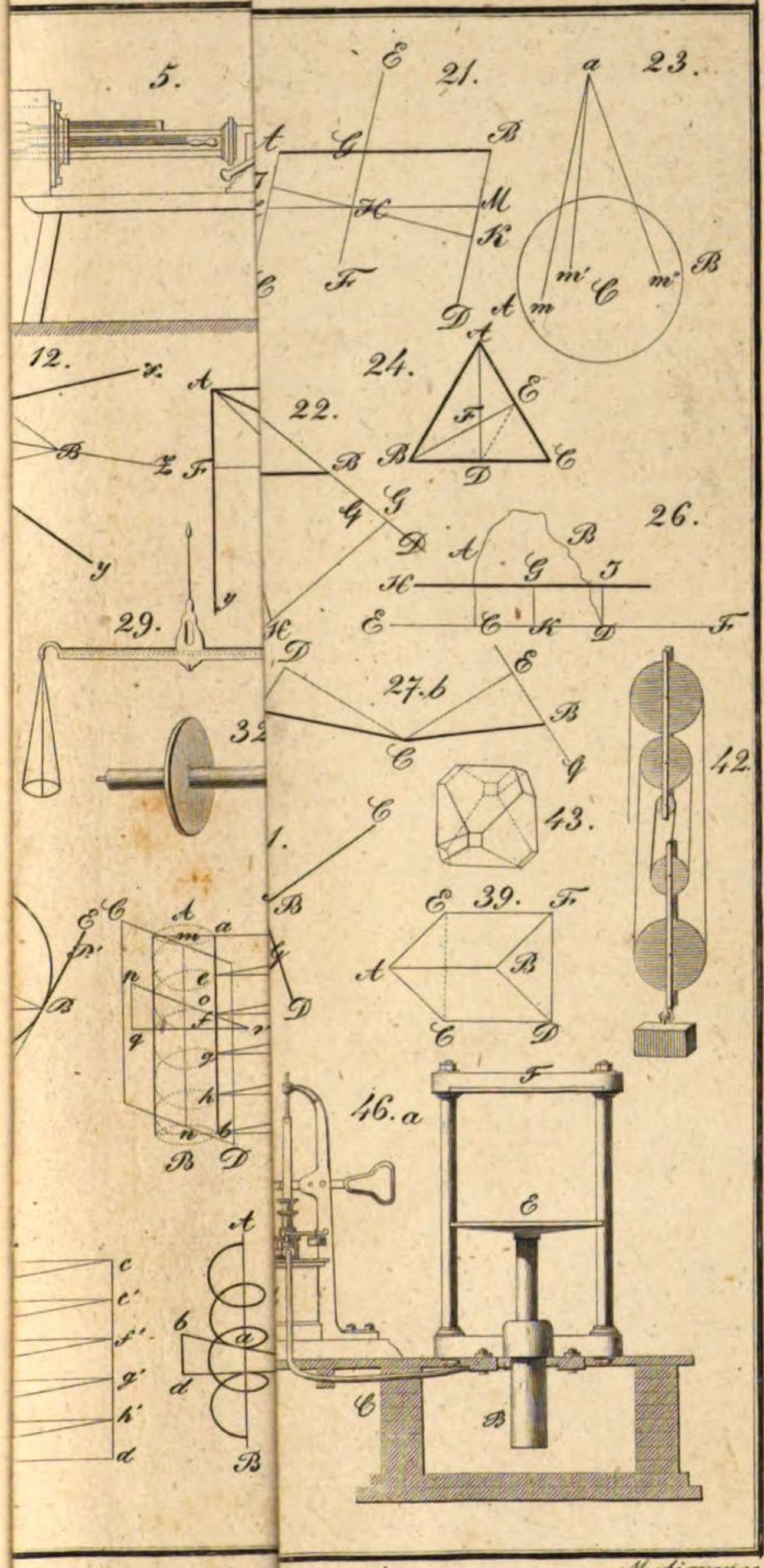
Deſſen practiſche Anleitung zum graphiſchen und geometriſchen Trianguliren mit dem Meßtiſche. Mit 9 Steinabdrücken. 2. verbeſſerte und vermehrte Auflage. gr. 8. 1825. 2 fl. 48 kr.

Deſſen theoretiſch-practiſche Anleitung zur Berg-Situations-Zeichnung, nach welcher man aus dem Grundriſſe die Höhe eines jeden beliebigen Punctes und die Böſchung eines Berges leicht erkennen und den Durchſchnitt entwerfen kann. Mit 2 Kupfertafeln. gr. 8. 1823. 1 fl. 30 kr.

Deſſen Beſchreibung eines verbeſſerten, bequemen und einfachen Reiſe-Barometers, nebſt practiſcher Anleitung zum Gebrauche desſelben ſowohl bei einzelnen Höhenmeſſungen, als bei Nivellirungen ganzer Gegenden. Mit einer Kpft. gr. 8. 1821. broſch. 1 fl.

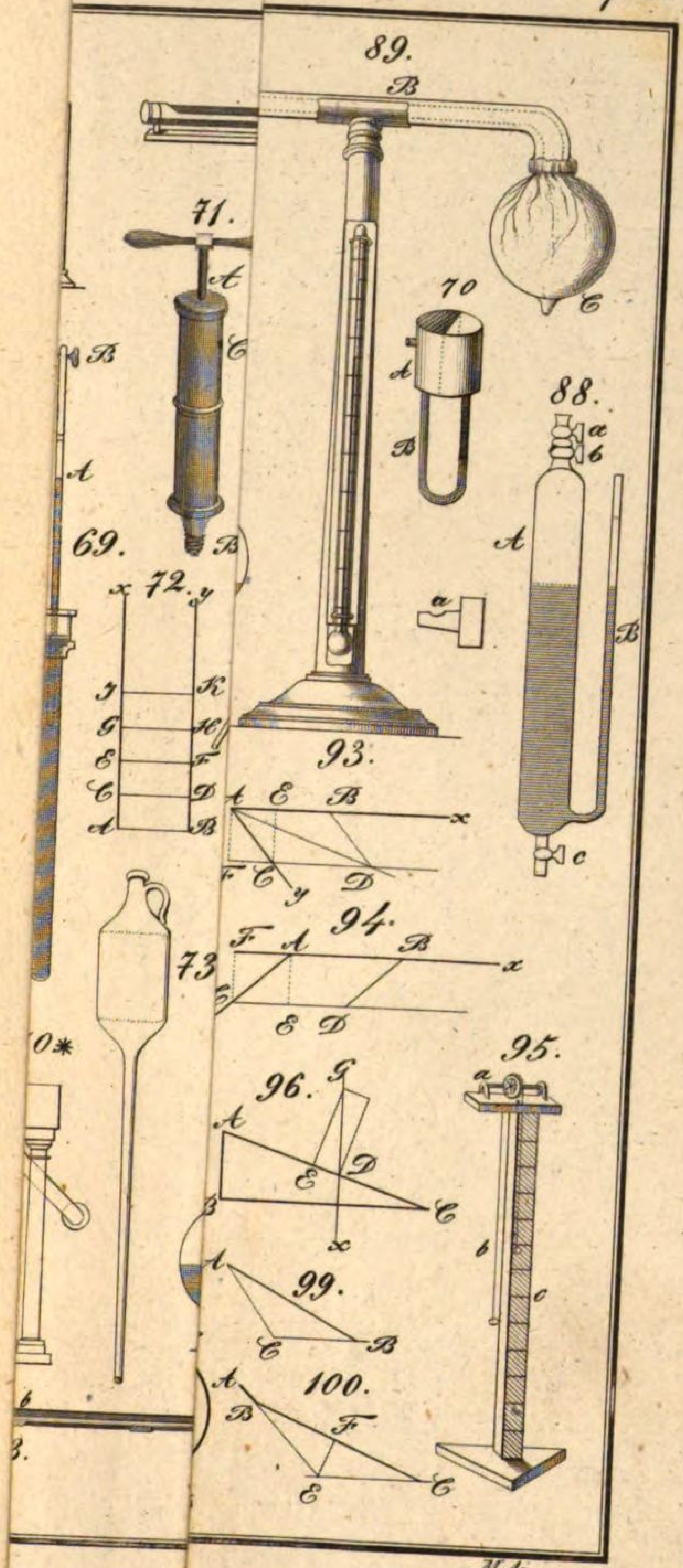
29

Taf. I.



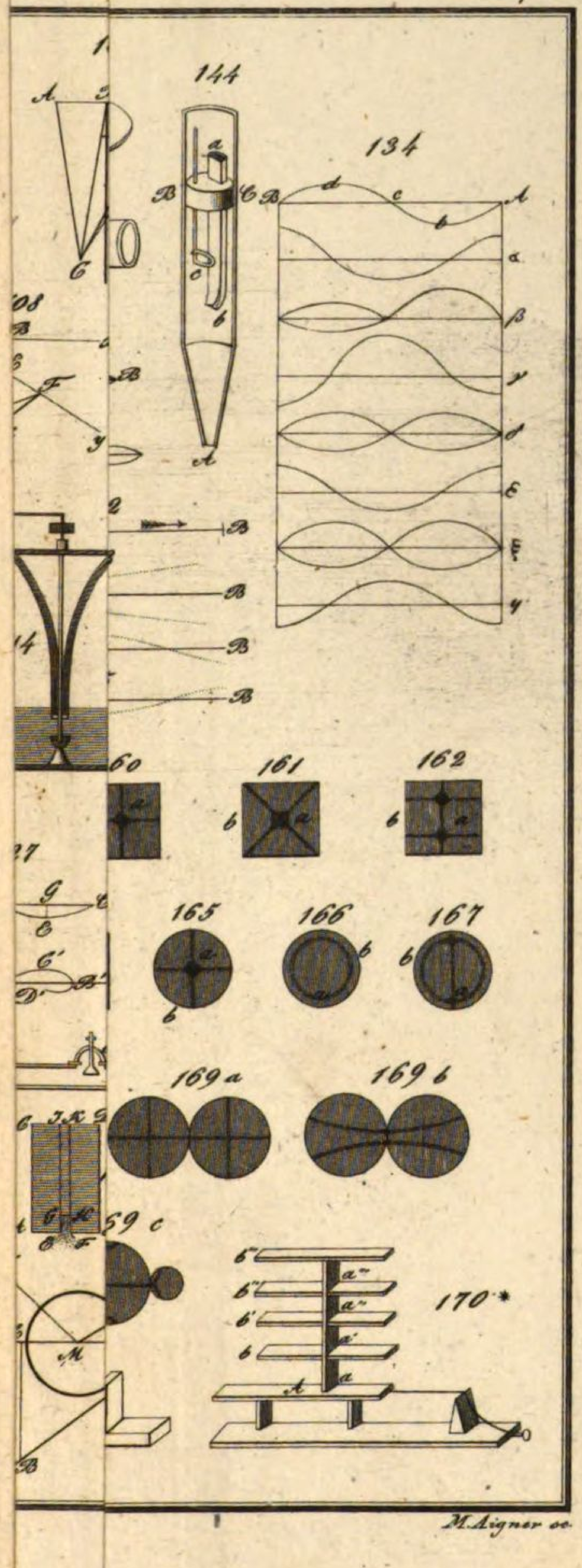
M. Aigner sc.

Taf. II.



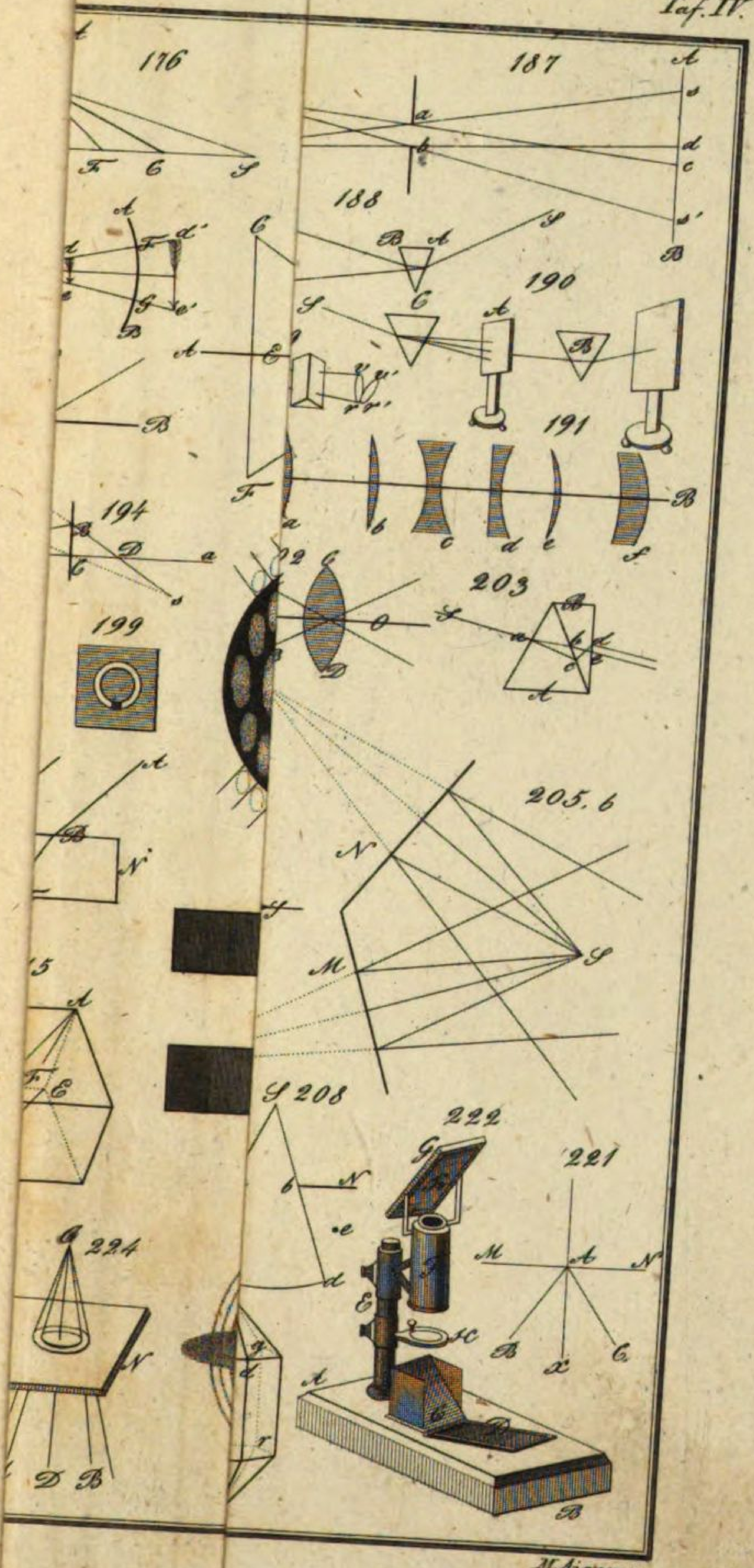
M. Aigner sc.

Taf. III.



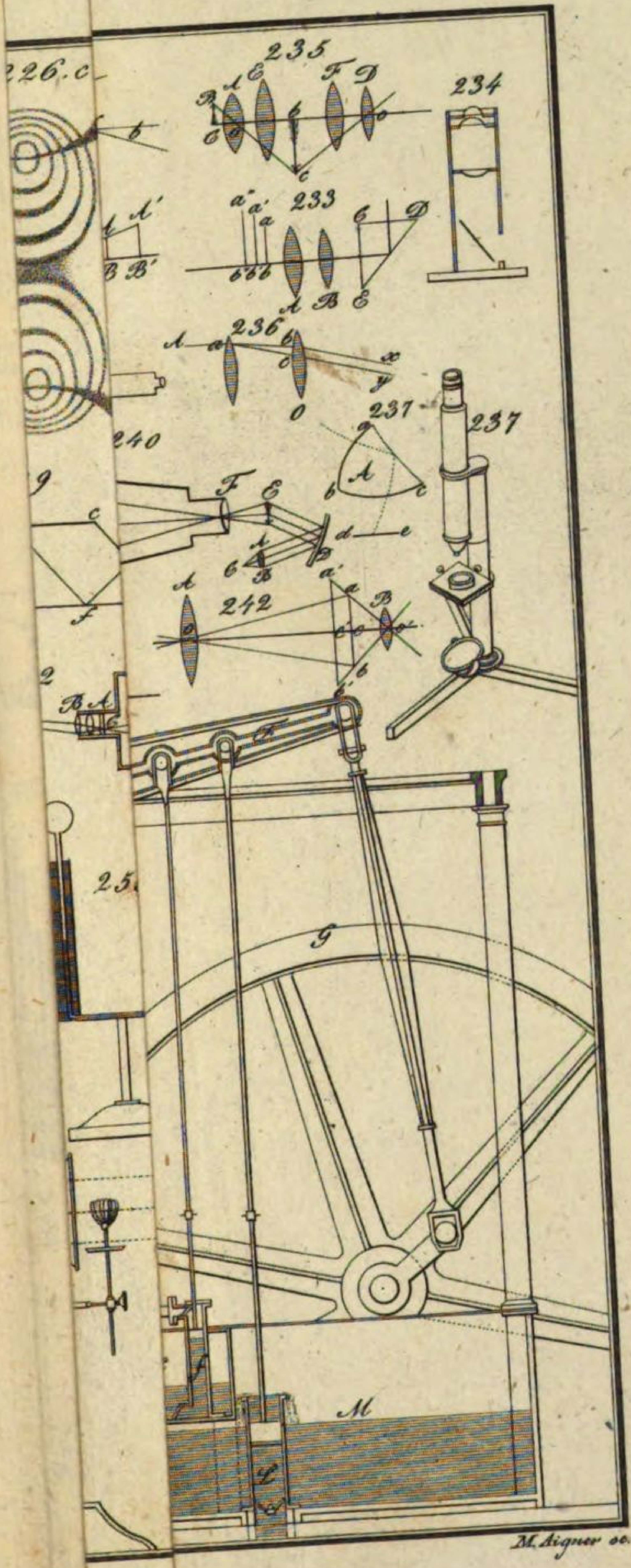
M. Aigner sc.

Taf. IV.

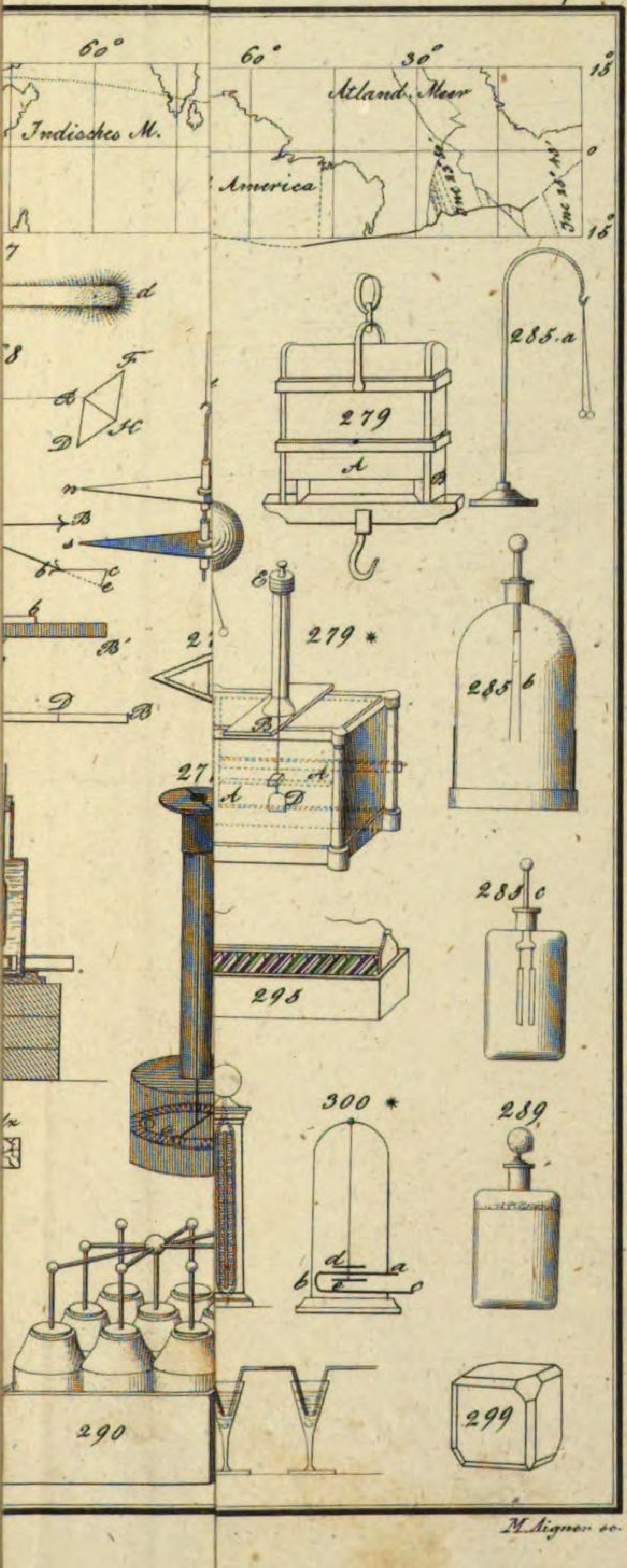


M. Aigner sc.

Taf. V.

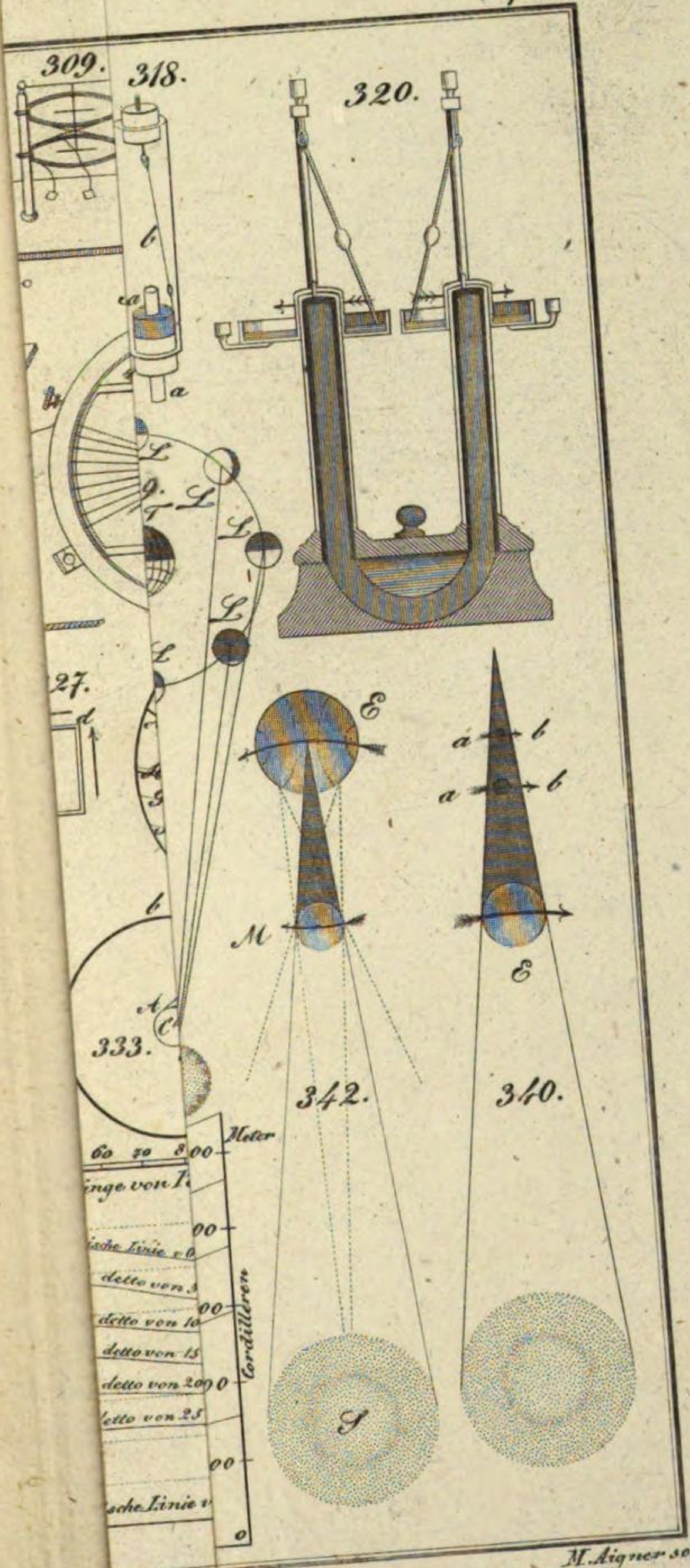


M. Aigner sc.


60°
60°
30°
15°
Atland. Meer
Indisches M.
America
0
15°
d
F
B
H
D
n
B
s
c
e
b
B'
D
B
285.a
279
A
B
E
279 *
B
A
A
D
285 b
285 c
295
300 *
d
a
b
c
289
290
299

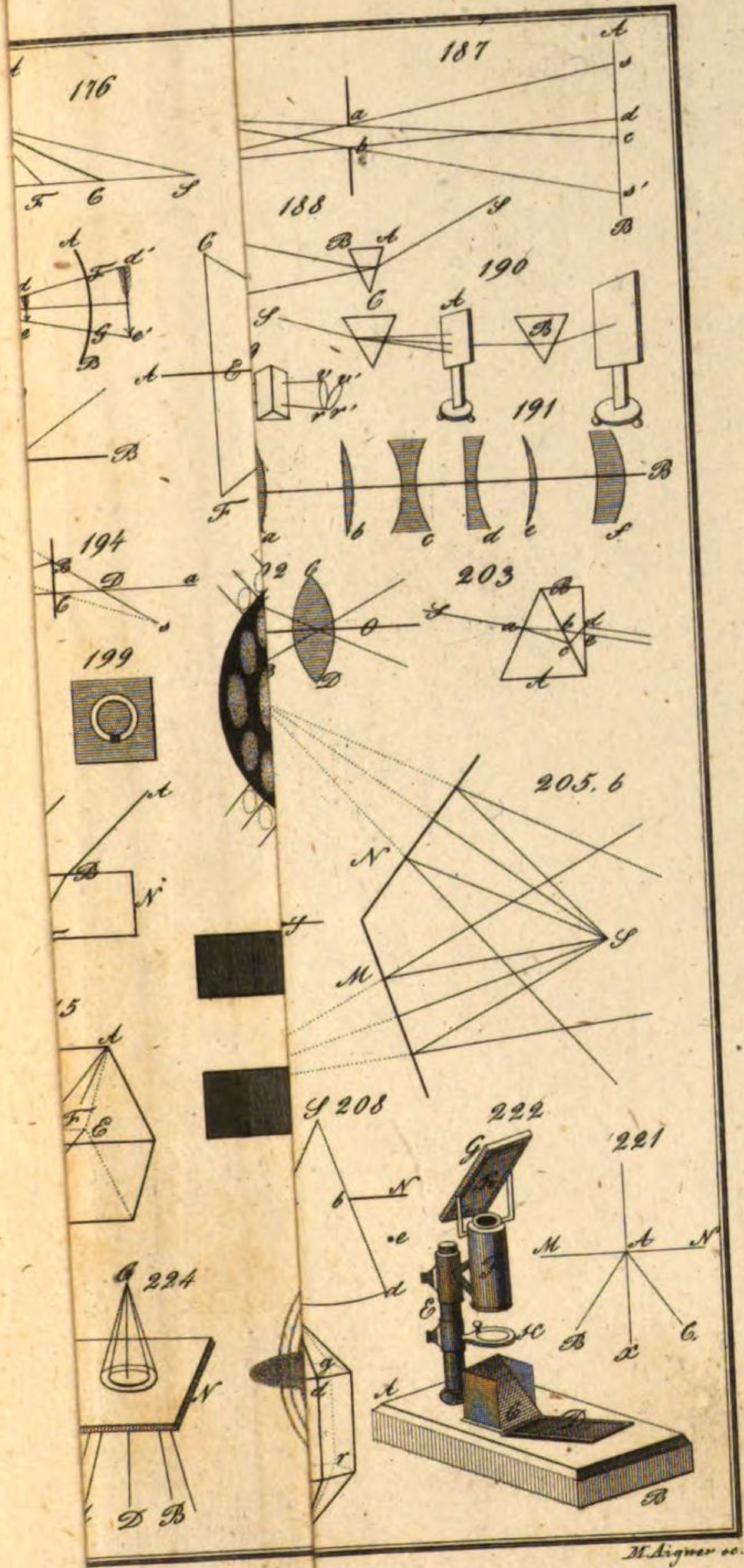
M. Aigner sc.

Taf. VII.



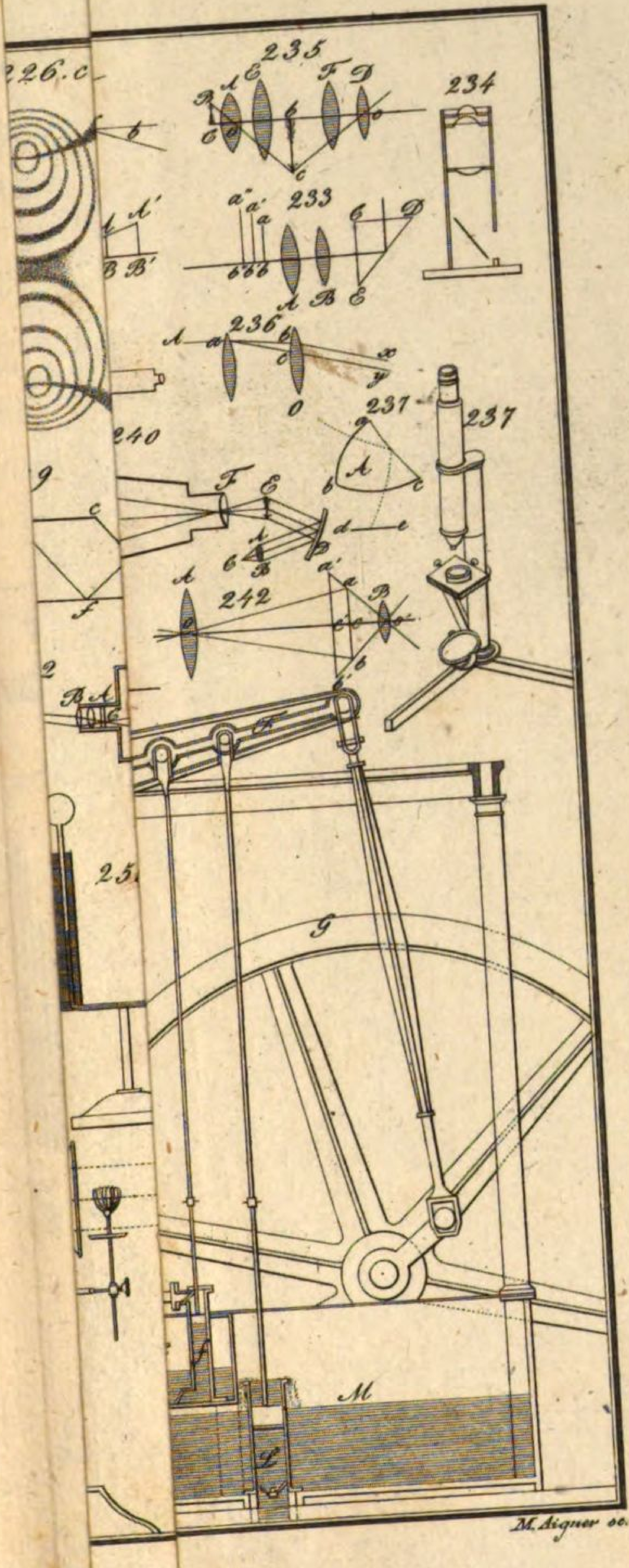
M. Aigner sc.

Taf. IV.



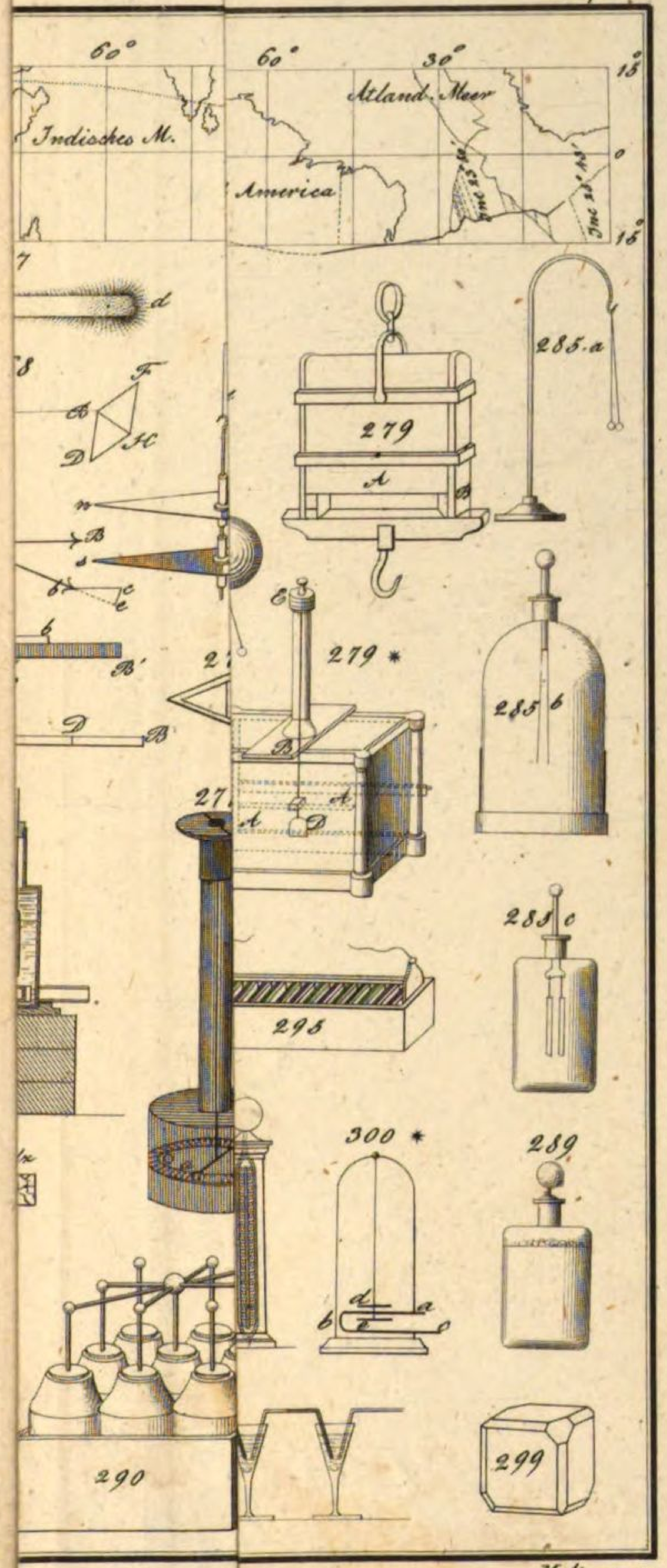
M. Aigner sc.

Taf. V.



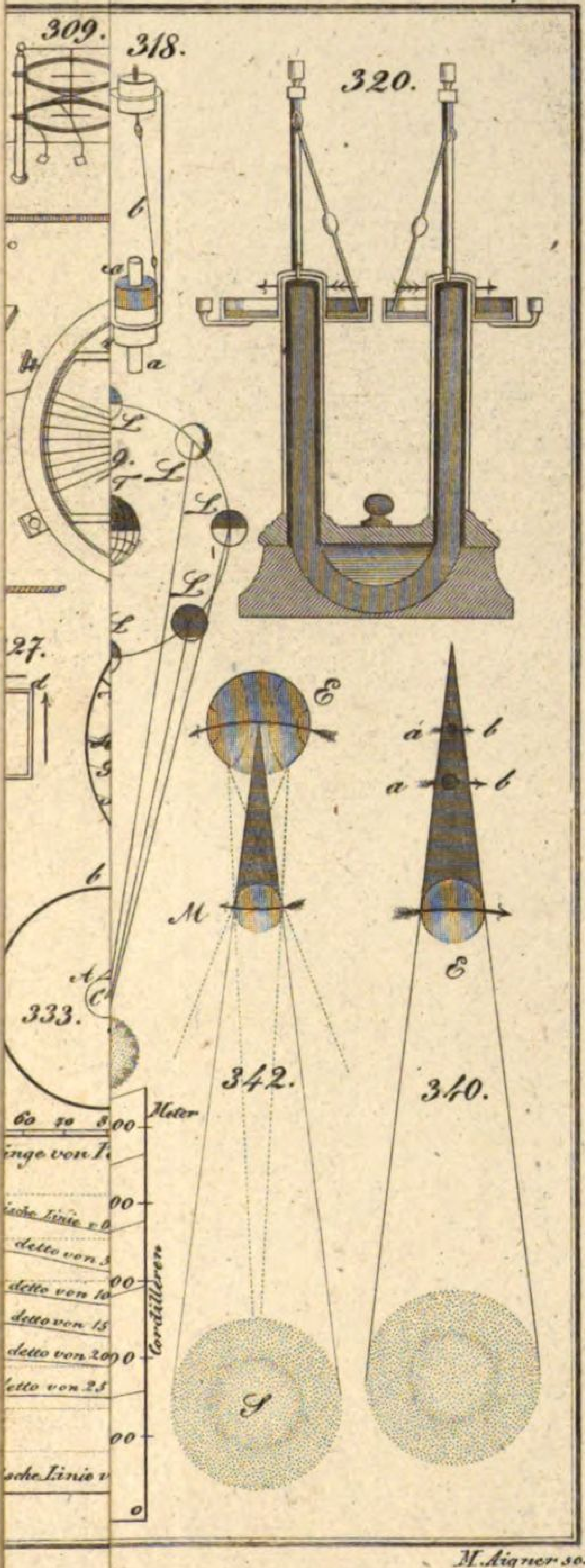
M. Aigner sc.

Taf. VI.



M. Aigner sc.

Taf. VII.



M. Aigner sc.

Taf. VIII.

M. Aigner sc.

8. Rs

Bayerische StaatsBibliothek

Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Baumgartner, Andreas

Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande, mit Rücksicht auf mathematische Begründung

Bd.: [1]

Wien 1832

Phys.g. 30 d-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10130652-6